This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

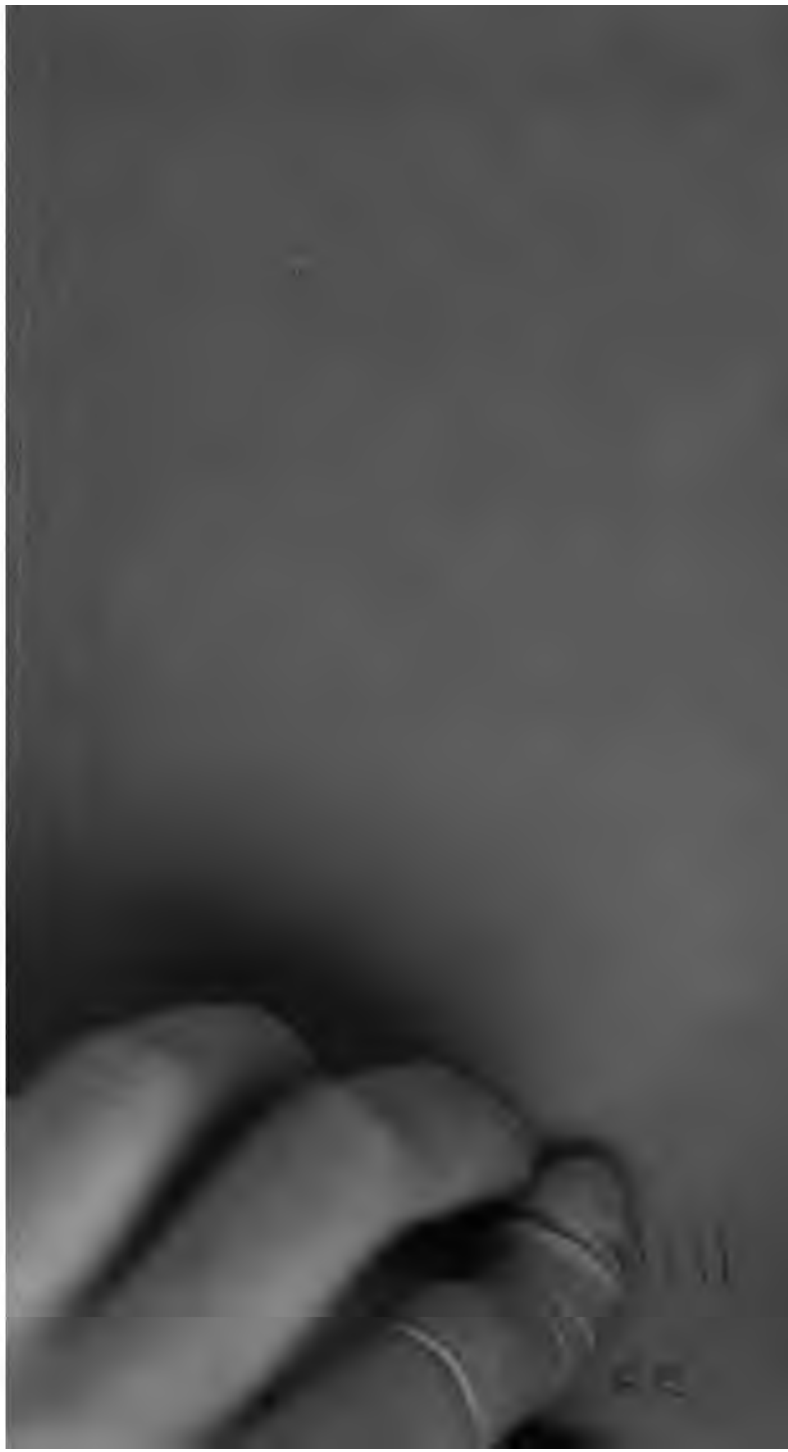
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

L RESEARCH LIBRARIES
33 06909979 8

1. Heat
SMD



Theory of Heat

PDD

Populäre

Wärmelehre

oder

Darstellung des Wesens und Verhaltens der Wärme,

leichtfasslich und mit steter Rücksicht auf praktische Anwendung

verfasst

von

Dr. G. W. Muncke,
Professor der Physik zu Heidelberg.

Mit zwei und zwanzig eingedruckten Holzschnitten.

Leipzig, 1847.
Bei E. B. Schwickert.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L

Vorwort.

Indem ich dem Publicum im Nachfolgenden eine populäre Wärmelehre übergebe, muss ich nothwendig über die Veranlassung hierzu einige Auskunft ertheilen. Seit meinen Untersuchungen über Elasticität und Dichtigkeit der Dämpfe, so wie über das Verhalten des Schiesspulvers, die vor das Jahr 1817 fallen, habe ich mir das Studium der Wärmeerscheinungen vorzüglich angelegen seyn lassen; es war dieses aber noch mehr der Fall, seitdem mir im Jahre 1823 die Bearbeitung dieses wichtigen Zweiges der Naturlehre für das neue physikalische Wörterbuch zu Theil wurde. Die Resultate eigner und fremder Forschungen habe ich im X. Bd. des genannten Werkes veröffentlicht. Ich hatte diese ausführliche Bearbeitung eines mir durch die viele darauf verwandte Mühe sehr lieb gewordenen Gegenstandes eben beendigt und alles noch im frischen Andenken, als ich in der A. Allgem. Zeitung vom 6. Jan. 1845 die Bekanntmachung des Münchener Vereins zur Verbreitung nützlicher Kenntnisse durch gemeinfassliche Schriften las, worin eine populäre Bearbeitung der Wärmelehre als Preisfrage aufgestellt wurde. Schon früher hegte ich die Absicht, die wichtigsten Theile der Physik in leicht fasslicher Darstellung den nicht durch ein Fachstudium, übrigens aber gebildeten

Classen der bürgerlichen Gesellschaft zugänglich zu machen, und ich beeilte mich daher, meine Abhandlung in der kurzen bestimmten Frist zu beendigen und rechtzeitig einzusenden. Der Münchener Verein liess die Verfasser der 17 eingereichten Arbeiten ein volles Jahr auf Entscheidung warten, was mich vorzugsweise unangenehm berührte, da meine Abhandlung jedenfalls zur Veröffentlichung bestimmt war, ich aber im vergangenen Winter von einer schweren Krankheit befallen wurde, die mir noch jetzt, wenn gleich bei ungeschwächter Geisteskraft, dennoch jede anstrengende Arbeit unmöglich macht.

Der Münchener Verein hat keine der erhaltenen Abhandlungen für preiswürdig erkannt, weil bei allen hinlänglich populäre Darstellung vermisst werde, ja es wird in einem erläuternden Artikel (A. A. Zeit. 1846. N. 188) den teutschen Physikern überhaupt der Vorwurf gemacht, dass „einfache, klare und fassliche Darstellung der Resultate der Wissenschaft und ihrer Beziehungen auf das Leben und die Technik nicht selten gerade bei denen in geringerem Grade sich finde, welche die Wissenschaft am gründlichsten kennen.“ Dieses, als wahr vorausgesetzt, wäre in der That zu bedauern, da gerade in der jetzigen Zeit die Resultate der Naturforschung sehr allgemein und mit überwiegendem Nutzen in das bürgerliche Leben übergehen, und die gebildeten Stände sich nicht mehr mit bloss praktischen Anweisungen begnügen, sondern auch die diesen zum Grunde liegenden Gesetze kennen wollen, so dass es sehr an der Zeit, ja sogar wohl dringendes Bedürfniss ist, diese in gemeinfasslicher Darstellung dem grösseren Publicum zugänglich zu machen. Wer aber nicht selbst in die Tiefen der Wissenschaft eingedrungen ist, und diese genau und gründlich erkannt hat, der kann unmöglich andern eine richtige, klare und fassliche Einsicht in dieselbe mittheі-

len. Es dringt sich daher die Vermuthung auf, dass die Aeusserung jenes in der That nicht geringen Vorwurfs durch ein Missverständniss herbeigeführt seyn müsse, und dass dieses wirklich der Fall sey, ergiebt sich dann auch aus der erwähnten Erläuterung (A. A. Zeit. N. 188.), woraus man ersieht, dass die Preisschrift dazu bestimmt war „in den 7263 öffentlichen Schulen Bayerns verbreitet, und dort von den Lehrern und Schülern benutzt zu werden. — Wenn dann," heisst es weiter, „über die verschiedenen Zweige des realen Wissens auch nur 25 Bände in jeder Volksschule auf jedem Dorfe sich vorfänden, so schien für die Verbreitung von Kenntnissen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften, der Technik und Oekonomie ein Grosses geschehen zu seyn." Diese specielle Bestimmung für Dorfschulen war inzwischen in der Aufgabe selbst nicht bezeichnet, sie liegt keineswegs in dem Ausdrucke: „Verbreitung unter dem Volke und in Schulen," steht vielmehr wohl im Widerspruche mit dem Zusatze, dass die Bearbeitung der Aufgabe „selbst für den Mann des Faches ansprechend gehalten seyn solle," was jedenfalls nur auf wissenschaftliche Darstellung bezogen werden kann, die für Dorfschulen nach meinem Bedünken gar nicht gehört. Um aber die Beurtheilung der Art und Weise, wie ich die Aufgabe aufgefasst und deren Lösung durchgeführt habe, zu erleichtern, theile ich die übrigens vortrefflich abgefasste Preisfrage am Ende dieser Vorrede wörtlich mit, und bitte das Publicum, meine Beantwortung derselben unpartheiisch zu prüfen.

Ohne inzwischen auf die wohlgemeinten Bemühungen des Münchener Vereins den mindesten Schatten werfen zu wollen, für dessen segensreiche Wirkungen im Bereiche des gewählten Kreises schon die hohe Protection *Sr. Kön. Hoheit* des eben so erleuchteten als alles Gute kräftig unterstützenden *Kronprinzen* hinlängliche Bürgschaft gewährt, kann ich mich

doch auf keine Weise überzeugen, dass die gegenwärtig höchst wünschenswerthe und wohl nothwendig zu nennende allgemeine Verbreitung der Kenntniss der Natur und ihrer Gesetze mit den Dorfschulen beginnen müsse, oder überhaupt für diese gehöre, indem vielmehr nach meiner Ansicht derjenige gebildete Mittelstand der bürgerlichen Gesellschaft, ich will sagen des Volkes, bereits besteht, welcher in dieser Beziehung zu Ansprüchen an die Bemühungen der Fachgelehrten berechtigt ist. Dahin rechne ich vorzüglich die etwas höher stehenden Handwerker, Kaufleute, Fabrikinhaber und insbesondere diejenigen Landwirthe, welche schon jetzt die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschungen mit dem glänzendsten Erfolge practisch anzuwenden begonnen haben. Für alle diese und viele andere, die gegen die Eindrücke der wundervollen grossartigen Naturerscheinungen nicht abgestumpft sind, ist die Kenntniss der diesen zum Grunde liegenden Gesetze wichtig und interessant, ja viele endlich, namentlich Aerzte, die früher physikalische Vorlesungen gehört, manches aber daraus vergessen haben, und nicht Gelegenheit hatten, die seitdem gemachten reissenden Fortschritte dieser Wissenschaft zu verfolgen, werden mit Vergnügen aus einer leicht fasslichen Darstellung des Wichtigsten und Wissenswürdigsten im Gebiete der Physik Belehrung schöpfen. Wenn wir aber voraussetzen, dass das Volk die mitunter absichtlich in rednerischen Schmuck gehüllten Verhandlungen über technische Anlagen, über Handel und Gewerbe, über Gesetzgebung und staatswirthschaftliche Verwaltung, ja sogar über die wichtigsten und mitunter schwierigsten Aufgaben der Staatsverwaltung und des Kirchenwesens nicht bloss begreifen, sondern auch bis zur Begründung eines eigenen entscheidenden Urtheils verstehen könne, so müssen wir doch wohl nothwendig zugestehen, dass es auch den Naturforschern möglich seyn werde,

die Kenntniss der Naturerscheinungen, mit denen ohnehin jeder Mensch von Jugend auf vertraut ist, eben diesem Volke durch gemeinfassliche Darstellung zugänglich zu machen.

Indem ich mich nun zu der Ueberzeugung berechtigt fühle, dass meine Abhandlung über das Wesen und das Verhalten der Wärme in wissenschaftlicher Hinsicht den billigen Forderungen der Sachverständigen genügen werde, zugleich aber populär, wie man dieses zu verstehen pflegt, geschrieben sey, so trage ich kein Bedenken, sie dem Publicum zu übergeben, in der wohlbegründeten Hoffnung, dass sie von der grossen Classe von Lesern, für die sie bestimmt ist, mit Nutzen und selbst nicht ohne Vergnügen werde gelesen werden. Bestimmtheit und Klarheit in der Sprache des gemeinen Lebens habe ich mir vorzugsweise angelegen seyn lassen, und daher die Kunstausdrücke der Schule sorgfältig vermieden, oder wo sie der Kürze und Bestimmtheit wegen unentbehrlich waren, zuvor erläutert. Um aber gerade in dieser Beziehung meiner Sache gewisser zu seyn, habe ich die einzelnen Abtheilungen vor der Reinschrift einigen Dilettanten mitgetheilt, und nach deren Gutachten die zur grösseren Deutlichkeit erforderlichen Veränderungen vorgenommen. Da ich nun ausserdem weiss, dass Männer aus den gebildeten Mittelclassen des Volks einige meiner technischen Artikel im neuen physikalischen Wörterbuche gelesen, verstanden und zu praktischer Anwendung benutzt haben, die zwar klar und bestimmt, aber nicht eigentlich populär geschrieben sind, so muss ich um so mehr erwarten, dass auch die vorliegende Abhandlung leicht verständlich sey.

Veränderungen sind mit der Abhandlung, so wie sie dem Münchener Vereine vorgelegt war, nicht vorgenommen, vielmehr übergebe ich sie dem Publicum in ihrer ursprünglichen Abfassung; jedoch musste ich die im Bayerschen Masse und

Gewichte ausgedrückten Bestimmungen wieder auf die in physikalischen Schriften allgemeiner üblichen altpariser zurückführen, wobei dann zugleich die beigegebene Vergleichungstabelle des sogenannten pariser Masses mit den sonst gebräuchlichen die Uebersicht erleichtert. Das Register erhöhet die Bequemlichkeit des Gebrauches im Ganzen, und wird besonders dazu dienen, die ungemein zahlreichen praktischen Anwendungen schneller aufzufinden.

Grosskmehlen bei Ortrand, im Juli 1846.

Der Verfasser.

Preis-Aufgabe.

Es soll die Lehre von der Wärme in einer Schrift, nicht über 15 Druckbogen stark, entwickelt werden. Diese ist bestimmt, möglichst grosse Verbreitung unter dem Volke und in Schulen zu erlangen. Ihre Sprache muss daher klar, auch einem nicht wissenschaftlich Gebildeten verständlich belehrend, dabei selbst für den Mann des Faches ansprechend gehalten seyn. Was die Anordnung betrifft, so kann man etwa, mit der subjectiven Wahrnehmung verschiedener Arten von Wärme beginnend, auf die objectiven Quellen derselben kommen, den Einfluss der Wärme auf die gesammte Körperwelt nach den drei Aggregatformen durchführen, ihre Vertheilung in der Welt und speciell auf der Erdoberfläche aufnehmen, die engen Grenzen bezeichnen, welche durch diese Vertheilung für das organische und animalische Leben, wie für den Menschen gegeben sind; sodann zeigen, wie der Mensch um Sicherung dieses Masses Wärme in den verschiedenen Formen bemüht ist und wie nicht nur das Leben selbst von der Wärme abhängt, sondern auch die gesammte Entwickelung der Lebensverhältnisse durch ihre Kenntniss und Handhabung bestimmt wird. Hierbei ist ihr Einfluss und ihre Verwendung in der Landwirthschaft, den Gewerben und dem Haushalte nachzuweisen. Man wünscht in dieser Entwickelung durch öfteres Zurückkehren zu dem erst allgemein Angedeuteten die Vollständigkeit der Kenntnisse nur allmählig herbeigeführt zu sehen, wo-

bei in dem Masse, als die Nebenvorstellungen reicher werden, auch der Hauptgegenstand übersichtlicher und vollständiger hervortreten wird.

Es ist jedoch nicht nothwendig, den hier entwickelten Gang streng einzuhalten, man wollte nur die Auffassungsart des Gegenstandes im Allgemeinen bezeichnen.

Die Beurtheilung der Preisschriften wird sich vorzüglich richten: Nach Klarheit und Gemeinfasslichkeit der Sprache, Geist in der Auffassung und Durchführung, thatsächliche Begründung und Vollständigkeit der allmählig erzielten Belehrung über Erzeugung, Wirkung und Anwendung der Wärme.

— — — — — — —

— — — — — — —

München, den 28. December 1844.

Der engere Ausschuss des Vereins zur Verbreitung nützlicher Kenntnisse durch gemeinfassliche Schriften.

Dr. *v. Hermann.* Dr. *Alexander,*
Secretair.

Register.

A.

Abkühlung. 138. Methode ders. 161.
Aktinometer. 28.
Alkarazzas. 174.
Alkohol, Gefrieren desselben. 206.
Alströmer. 83; 91.
Amontons. 235.
Anbrennen der Speisen. 215.
Aphar. 58.
d'Arcet. 198.
d'Argand. 83; 91.
Aristoteles. 101.
Atmidometer. 210.
August. 230.
Ausdehnung durch Wärme. 180. der Luft. 181. der tropfbaren Flüssigkeiten. 182. des Wassers. 183. der festen Körper. 187 ff. der Krystalle. 194.
Ausstrahlung. 119; 122; 128.

B.

Baader. 79.
Baco. 69.
Barometer. 182.
Barth. 197.
Battaglia. 64.
Benkler. 91.
Bertholi. 64.
Black. 167.
Blasco de Caray. 234.
Blitzschlag. 109; 116.
Bodenwärme. 29.
Boutigny. 217.
Breguet. 16; 52.
Brennglas, Brennpunkt, Brennspiegel. 25; 119; 153.
Brennkraftmesser. 96; 161.
Brewster. 90.
Buch, Leopold v. 46.

C.

Caliber. 9.
Calorimeter. 160.
Canäle der Luftheizung. 134.
de Caus. 234.
Chlor. 70.
Chronometer. 191.
Clarcke. 80.
Compensationspendel. 191.
Compensatoren. 190.
Crighton. 17.
Cylindergebläse. 79.

D.

Dalton. 232.
Dampf. 167; 208; 223 ff. dessen Dichtigkeit. 223 und Elasticität. 231.
Dampfdreher, Kempelen's. 234.
Dampfheizung. 127; 168; 191.
Dampfkessel. 241.
Dampfmaschine. 234 — 245.
Daniell. 229.
Davy. 54; 85; 89.
Diatherman, Diathermanie. 121; 145; 153.
Diathermansie. 153.
Dichtigkeit des Dampfes. 223.
Differentialthermometer. 19; 24.
Digestor, Papin's. 220; 232.
Döbereiner. 53.
Doppelfenster. 137; 149.
Druck einer Atmosphäre. 212.
Dunst. 209.

E.

Einstrahlung. 119.
Eis, dessen Bildung. 170. künstliche. 171. Flüssigkeitswärme. 160. Wärmeleitung. 151.
Eisberge. 196.
Eiscalorimeter. 161; 167.
Eisenbahnen. 239.
Eisgradirung. 197.
Elektricität, erzeugt Wärme. 109. wird durch Wärme erzeugt. 246.
Expansionsmaschine. 238.
Explosionen. 65; 69.

F.

Fahrenheit. 206.
Fenster, Gefrieren derselben, 140; 200.
Feuer, Küchenfeuer. 61. ff. griechisches. 68.
Feuerlöschen. 72. 86.
Feuerschlagen. 58; 84.

Feuerzeug, pneumatisches. 52.
Flamme. 89. der Kerzen. 92. gefärbte. 93.
Flüssigkeitswärme. 167.
Forbes. 152.
Franklin. 27; 137.
Franklin'sche Röhre. 219.
Frostborsten. 202.

G.

Gas, Gase. 208; 246. Gaslampe. 91.
Gay-Lüssac. 181.
Gebläse. 78.
Gefrieren. 195. des Wassers. 199.
Gefrierpunkt. 11; 157. 164.
Gehlen. 142.
Geothermometer. 18.
Glühhitze. 3; 94.
Gmelin. 206.
Goldschmidt. 73.
Governor. 244.
Grade der Thermometerskalen. 13.
Graupeln. 201.
Grundeis. 204.

H.

Hagel. 202.
Hare, dessen Knallgasgebläse. 81.
Harrison. 191.
Heizkammern. 132.
Heizung der Zimmer. 125.
Heliothermometer. 28.
Henschel. 79.
Heron von Alexandrien. 231.
Herschel. 28; 93.
Hochdruck-Dampfmaschinen. 238.
Höhenmessen, thermobarometrisches. 220.
Höll. 55.
Homberg. 63.
Hügi. 215.
v. Humboldt. 46.
Hygrometer. 20; 227.
Hygroskop. 228.

I.

Inductionsrolle. 249.
Inselklima. 33.
Insekten, deren Wärmeerzeugung. 101.

K.

Kälte, ihr Wesen. 3. künstliche. 171. der nördlichen Gegenden. 41. Einfluss auf den Menschen. 104.
Kältepole. 33; 41.
Kältestrahlen. 57; 120.
Kalk, Löschen des gebrannten. 60.
Keller, deren Temperatur. 31.
v. Kempelen. 234.
Kettengebläse. 79.
Klinkenlecken. 140.
Knallbombe. 145.
Knallgas. 65.
Knallgasgebläse. 80.
Knallgold. 69.
Knallkügelchen. 71.
Knallpulver. 69.
Knallquecksilber, Knallsäure, Knallsalz, Knallsilber. 70.
Kohlensäure, feste. 176.
Kryophorus. 175.
Küchenfeuer. 61.
Küstenklima. 34.

L.

Laing. 118.
Lamont. 247.
Lampe. 54; 89. benklersche - 91. Liverpool. 91. ohne Flamme. 54; 89. monochromatische. 90. Sicherheits-. 85. Gas. 91.
Lampendochte. 83.
Lampengebläse. 80.
Lampensäure. 54.
v. Lamperti. 216.
Laplace. 157; 167.
Lavoisier. 167.
Leidenfrost's Versuch. 180; 216; 242.
Lemery. 62.
Leslie. 19. 122; 123.
Leuchtgas. 91.
Licht, verbrennender Körper. 89.
Lichtäther. 24.
Lichtenberg. 142.
Lionetto. 142.
Löschen, brennender Camine. 77. des Feuers. 72. 86.
de Lüc. 228.
Luftheizung. 130.
Luftkissen. 149.
Luftthermometer. 7. Kienersley'sches. 110.

M.

Magnetismus, tellurischer. 247.
Magnus. 18; 181.
March, Reibholz der Araber. 58.
Marienbad. 216.
Mariotte. 119.
Martinez. 106.
van Marum. 114.
Mastermann. 235.

Mathesius. 234.
Melloni. 121; 152 - 155.
Menschen, deren Wärmerzeugung. 103.
Metall, leichtflüssiges, Rose'sches. 198.
Metallthermometer. 15.
Mikrocalorimeter. 20.
Mischungen, Methode derselben. 159; 167.
Mitscherlich. 104.
Molard. 189.
Mondstrahlen. 47.
Mörtel. 60.

N.

Newcomen. 234; 236.
Nollet. 204.
Nullpunkt der Thermometer. 12; 164. der Wärme. 157.

O.

Oefen. 128.
Onions. 235.
Ordalien. 142.

P.

Pambour. 239.
Papin'scher Topf, oder Digestor. 220.
Papinus, Dionysius. 234.
Paradoxon, pneumatisches. 241.
Pelikan. 233.
Perkins. 238; 245.
Pferdekraft. 239; 240.
Pflanzen, deren Wärmeerzeugung. 100.
Pflanzengeographie. 45.
Photometer. 19.
Pictet. 119.
Pistole, elektrische. 66; 112.
Platinsalmiak, Platinschwamm. 53.
Polarisation. 155.
Potter. 237.
Psychrometer. 230.
Pulshammer. 219.
Pyroelektricität. 247.
Pyrometer. 8; 20.
Pyrophor. 63.

Q.

Quecksilber, Gefrieren desselben 206. specifische Wärme. 159.
Quecksilberthermometer. 9; 162.

R.

Regnault, Victor. 181.
Regulator. 244.
Richmann'sches Gesetz. 59; 159.
Roger. 142.
Rose. 198.
Ross. 151.
Rossol. 196.
Rothfeuer. 93.
Rudberg. 181.
Rumford. 26; 57; 120; 123; 125; 146; 186.
Rutherford. 17; 97.

S.

De Saussüre. 28; 228.
Savery. 234; 235.
Schiesspulver. 67; 245.
Schmelzen. 95; 195; 206.
Schmelzpulver. 69.
Schnee. 200. schützt gegen Kälte. 151.
Schneegrenze. 44.
Schnellloth. 197.
Schwarz. 69.
Schwefel, dessen Schmelzen. 207.
Schwungrad. 243.
Seebeck. 247.
Selbstsverbrennung der Menschen. 64.
Sementini. 143.
Sicherheitslampen. 85.
Sieden. 165. 212.
Siedepunkt. 11; 164; 212; 214.
Simmern metallener Gefässe. 212.
Six, Sixthermometer. 18.
Skalen der Thermometer. 13; 15.
Smeaton. 240.
Staubschnee. 201.
Steinsalz, Verhalten gegen Wärmestrahlen. 153.
Strahlung der Wärme. 48; 117; 119.
Strohdächer. 138.
Sublimat. 208.

T.

Tachopyrion. 52.
Temperatur. 29. tägliche, monatliche und jährliche. 36; 37. mittlere der Orte. 34. der verschiedenen Orte. 40.
Thau. 117.
Thaupunkt. 230.
Thermoelektricität. 246; 248.
Thermomagnetismus. 248.
Thermometer. 7; 156. selbstregistrirende. 17. thermoelektrische. 20.
Thermometrograph. 17.
Thermophon. 143; 180.
Thiere, Wärmeerzeugung derselben. 101.
Thilorier. 176.
Tilloch. 142.

Treibhäuser. 28.
Tretgold. 128.
Trevelyan. 143.
Turmalin, dessen Thermoelektricität. 247.

U.

Unverbrennlichkeit der Menschen. 142.

V.

Vauban. 245.
Vegetationsgrenze. 46.
Ventile. 242; 244.
Verbrennung. 61; 74.
Verdunstung. 209. ff.
Verdunstungsmesser. 210.

W.

Wackler. 144.
Wärme, ihr Wesen. 3; 5; 155. Erzeugung derselben. 23. durch Sonnenstrahlen. 24. durch Reibung und Druck. 51; 56; 145. durch Verbindung ungleichartiger Körper. 59. das Küchenfeuer. 74. durch den Lebensprocess. 99. durch Elektricität. 109. Menge der durch Verbrennung erzeugten. 95. des Erdbodens. 29. latente, gebundene. 163. ff. sensibele. 168. specifische. 139; 156; 158. ff. Abnahme derselben mit der Höhe. 31. Ableitung. 136. Durchleitung. 148. Fortleitung. 144. Leitung. 116. Polarisation. 155. Messung derselben. 7. Wirkungen. 178. namentlich Ausdehnung. 180.
Wärmecapacität. 156.
Wärmemesser, Thermometer. 7.
Wärmestoff. 5; 155.
Wärmestrahlung. 48; 117; 119. 152–154.
Wasserbad. 216.
Wassercalorimeter. 96; 161.
Wasserhammer. 218.
Wasserheizung. 126.
Watt. 234; 236; 237; 239—241.
Wedgwood. 20.
Weingeistthermometer. 10; 12; 162; 184.
Weissfeuer, indisches. 94.
Wetter, erstickende. 76; schlagende. 76; 85.
Wetterparoskop. 197.
Winterschlaf der Thiere. 103.
Wistar. 210.
Wollaston. 142; 175.
Worcester, Marquis von. 234.

Y.

v. Yelin. 247.

Z.

Zabdan, Reibholz der Araber. 58.
Zangari, Gräfin. 64.
Zerspringen der Dampfkessel. 241.
Zündhölzchen. 71.
Zündhütchen. 70.
Zündlampe, Döbereiner's. 53.
Zündpulver. 71.
Zündruthe. 94.
Zündschwamm. 72.
Zuschlag. 198.

Populäre

Wärmelehre.

Das Studium der Natur und ihrer Gesetze übt den Ver nützt für die Bedürfnisse des Lebens und führt zur Verehrun Schöpfers der Welt.

Einleitung.

Die Vorstellung von der Wärme erhalten wir durch die Empfindung, und nennen hiernach gewisse Körper, z. B. das dampfende Wasser, die Luft im hohen Sommer, warm, andere dagegen kalt, z. B. das Eis, die Luft im Winter, je nachdem sie auf unser Gefühl so wirken, dass wir in ihnen Wärme in gewisser Menge anwesend, oder ihnen fehlend annehmen. Steigt die Wärme sehr, so dass sie für unsern Körper unangenehm oder wohl unerträglich wird, so bezeichnen wir dieses durch das Wort: Hitze, reden von der Hitze der Sommer, der Stubenöfen, und sofort, ohne scharfe Begrenzung bis zur Glühhitze, die wir dann als vorhanden annehmen, wenn die Körper einen leuchtenden Schein zeigen. Nimmt die Wärme sehr ab, so kommen wir ohne das Vorhandenseyn einer scharfen Grenze dahin, dass wir von Kälte reden, die wir uns gleichfalls als steigend, und zwar bis zu einem Puncte als zunehmend vorstellen, wo alles erstarret. Wir nennen also die Körper warm und kalt, nehmen eine Wärme und eine Kälte an, und es muss daher wohl zuerst bestimmt werden, wo die Grenze zwischen beiden sey. Eine solche existirt indess in der Wirklichkeit nicht, denn nicht selten findet der eine da Kälte, wo der andere Wärme vorhanden glaubt, und man sagt oft von einem Stück Eisen, es sey sehr kalt geworden, wenn es noch immer viel wärmer ist, als das Eis. Denken wir hierüber weiter nach, so gelangen wir zu der Ueberzeugung, dass es allerdings Wärme giebt, die sehr, bis zur Hitze und stärksten Glühhitze, gesteigert werden kann, dass sich dagegen keine eigentliche Kälte annehmen lässt, indem wir viel-

mehr diejenigen Körper kalt nennen, welche weniger Wärme haben, als die mit ihnen verglichenen, ohne dass eine eigentliche Grenze stattfindet, wo der Mangel der Wärme zur Kälte übergeht. Oft redet man z. B. von einem warmen Winter, obgleich die Wärme weit geringer ist, als im Sommer, wenn man sich über dessen Kälte beklagen würde. Bei weiter fortgesetzter Prüfung gelangen wir zu der Ueberzeugung, dass es allerdings Wärme von verschiedenen Graden der Stärke giebt, Kälte dagegen nur die Abwesenheit dieser Wärme, wenn wir die Körper unter einander vergleichen, bezeichnet; denn alle Erscheinungen sind sich wesentlich gleich, sie mögen durch geringere oder grössere Wärme hervorgebracht werden. Haben wir z. B. ein Stück glühenden Eises, und legen wir darauf ein Stück Blei, so giebt das Eisen von seiner Wärme ab, und das Blei schmilzt; nehmen wir ein Stück heisses Blei, und legen darauf ein Stück Wachs, so giebt ersteres von seiner Wärme ab, um letzteres flüssig zu machen; eben dieses findet statt, wenn wir ein Stück Eis auf mässig warmes Wachs legen. Das Quecksilber gefriert in sehr grosser Kälte; wird es aber in diesem festen Zustande auf ein Stück Eis gelegt, so giebt auch dieses von seiner Wärme ab, und das Quecksilber wird wieder flüssig, es schmilzt. Durch künstliche Mittel hat man eine gewisse Flüssigkeit, den Salpeteräther, in einer weit grösseren Kälte, als in welcher das Quecksilber gefriert, gleichfalls zum Gefrieren gebracht, und wenn man daher ein Stück Salpeteräthereis auf gefrorenes Quecksilber legte, so würde dieses an jenes Wärme abgeben, und es zum Schmelzen bringen, ohne selbst flüssig zu werden. Solche Erscheinungen sind ur durch künstliche Mittel oder in den kältesten Gegenden der Erde möglich, alle zusammengenommen zeigen aber, dass es auch bei den höchsten Graden der Kälte immer noch Wärme giebt, und dass alle die genannten, unter sich ganz gleichen, bloss den Graden nach verschiedenen Wirkungen durch die in grösserer oder geringerer Menge vorhandene Wärme hervorgebracht werden. Wissenschaftlich kann also nur von der Wärme die Rede seyn, wobei es dann unschädlich ist, dass im Sprachgebrauche die

Abwesenheit oder der Mangel einer gewissen Menge von Wärme durch den Ausdruck Kälte bezeichnet wird.

Wenn wir es diesemnach bei den nachfolgenden Untersuchungen bloss mit der Wärme zu thun haben, so fragt sich zunächst, was diese, die wir als die Ursache der genannten und vieler anderer mehr oder minder allgemein bekannter Wirkungen betrachten müssen, ihrem eigentlichen Wesen nach sey, oder kurz wir fragen: was ist das, was wir Wärme nennen und was die ihr zugehörigen Erscheinungen hervorbringt? Dass wir die Wärme nicht, wie andere feste oder tropfbare Flüssigkeiten messen, wägen, und für sich selbstständig existirend wahrnehmen können, sie vielmehr meistens an andere Körper gebunden und mit ihnen vereint wahrnehmen, weiss jeder, und begreift somit leicht, dass es schwierig seyn muss, über ihr eigentliches Wesen zu entscheiden. Für unsern Zweck würde es aber nicht angemessen seyn, auf die verschiedenen Bemühungen, eine genügende Theorie der Wärmephänomene aufzufinden, weiter einzugehen. Wichtiger dagegen ist es, uns zu überzeugen, dass es dem menschlichen Verstande noch nicht gelungen ist, die ganze Fülle der Erscheinungen in der aus der Hand eines allmächtigen und allweisen Schöpfers hervorgegangenen Natur genügend zu erklären, ja wir sind noch nicht so weit gekommen, sie nur einmal insgesammt zu kennen, da noch täglich neue Entdeckungen gemacht werden. Wir dürfen uns daher in Beziehung auf die vorliegenden Untersuchungen damit begnügen, dass nach dem Urtheile der meisten Gelehrten die Wärmeerscheinungen sich am besten aus der Annahme eines eigenthümlichen Wärmestoffes erklären lassen, welcher in allen uns bekannten Körpern in grösserer oder geringerer Menge vorhanden ist, und bei seinem Uebergange aus dem einen Körper in den andern, bei seiner Vermehrung oder Verminderung, diejenigen Erscheinungen hervorbringt, deren Kenntniss für uns von grösster Wichtigkeit ist, und deren Gesetze wir aufzufinden uns bemühen, da wir überhaupt stets mehr zu der Ueberzeugung gelangen, dass alles in der Natur höchst weise nach unwandelbaren Gesetzen eingerichtet ist, deren Aufsuchung eben die

Menge Luft in eine Kugel ein, die mit einem engen Rohre versehen ist, bringt zur Absperrung in das Röhrchen nach Umständen einen Tropfen Quecksilber oder Weingeist, und misst die Vermehrung oder Verminderung der Wärme durch die Ausdehnung oder Zusammenziehung der abgesperrten Luft. Da auf die eingeschlossene Luft ausser der absperrenden Flüssigkeit auch die von aussen in das Röhrchen dringende Luft drückt, und dieser Druck ungleich ist, wie das Steigen und Fallen des Barometers zeigt, so können solche Thermometer nur mit Rücksicht auf diesen Umstand gebraucht werden. Nicht minder ist zu berücksichtigen der Widerstand, welchen die an den Wänden des Röhrchens anhängende absperrende Flüssigkeit den geringen Ausdehnungen der eingeschlossenen Luft entgegensetzt. Dennoch aber sind solche Apparate für geübte Beobachter sehr wichtig, ja da die Luft in den grössten Hitzegraden unverändert bleibt, so kann man Kugel und Röhrchen auch aus Platin verfertigen, an letzteres ein Glasröhrchen zum Beobachten anbringen, in diesem die Luft mittelst Quecksilbers absperren, und auf diese Weise ein Werkzeug zum Messen der höchsten Hitzegrade erhalten, das man Pyrometer nennt. Ausserdem aber sind die Lufthermometer sehr geeignet, um geringe Wärmeveränderungen wo nicht eigentlich zu messen, doch wahrzunehmen, weil die Luft sich sehr leicht und stark ausdehnt. Zu diesem Zweck verfertigt man kleine Kugeln von dünnem Glase, versieht sie mit einem engen Röhrchen, erwärmt die Kugel etwas, bringt auf das obere Ende des Röhrchens einen Tropfen mit etwas Alcanna-Wurzel oder sonst roth gefärbtem Weingeist, welcher sich in das Röhrchen hineinzieht und die Luft absperrt. Mit solchen, für den jedesmaligen Gebrauch hergestellten, Thermometern kann man z. B. wahrnehmen, ob Blüthen, zur Zeit wenn sie sich öffnen, Wärme entwickeln, ob kleine Haufen vereinter oder in ein Gefäss eingeschlossener Insecten Wärme erzeugen, ob kleine Thiere und Früchte eine andere Temperatur, als ihre Umgebungen haben u. s. w. Man hält dann das kleine Thermometer in der Nähe des zu prüfenden Gegenstandes so lange, bis es die Temperatur der Umgebung ge-

u angenommen hat, wobei man es auch wohl sehr wenig schütteln nn, um die sperrende Flüssigkeit beweglicher zu machen, bringt nn die kleine Kugel mit dem zu prüfenden Körper in Berührung, d beobachtet das Steigen oder Sinken der sperrenden Flüssigkeit.

3) Bei weitem die besten Thermometer sind b) die Quecklberthermometer, die aus einer mit Quecksilber gefüllten ugel und einem engen Röhrchen bestehen. Da man voraussetzt, ss das Quecksilber durch gleiche Zunahmen der Wärme gleiche rmehrungen des Volum's erhält, also gleiche Längen des im hrchen steigenden Quecksilberfadens gleichen Wärmegraden zuhören, so muss nothwendig die Oeffnung im Röhrchen cylinderrmig oder überall gleich weit seyn. Um dieses zu prüfen, ingen die Künstler in das Röhrchen einen Quecksilbercylinder, ssen diesen vom einen Ende absatzweise zum andern gleiten, d diejenigen Stellen, an denen dieser Faden seine Länge nicht dert, haben dann gleiches Caliber. Es ist jedoch schwer, ngere Glasröhren von genau gleichem Caliber zu erhalten, denn ei'm Verfertigen derselben wird eine Luftblase in eine Masse las geblasen, und diese dann zu grosser Länge ausgezogen, wourch leicht eine kegelförmige Gestalt entsteht. Wird der Glaslumpen vor dem Ausziehen der Röhren platt gedrückt, so erält man die flachen Thermometerröhren, in denen der innere aum bandförmig ist, wodurch indess die ungleiche Weite desselen nicht vermieden wird. Minder gewissenhafte Künstler nehnen dann den cylindrischen Theil der Röhre für die über dem ullpuncte liegenden Grade, weil deren Richtigkeit sich leicht urch Vergleichung mit guten Thermometern prüfen lässt, bei den ieferen Graden sind sie dagegen weniger besorgt, wesswegen liese weniger Vertrauen verdienen. Man thut wohl, die Thermoneter, auf die man sich auch in tieferen Graden verlassen will, von bewährten Künstlern zu nehmen, und den höheren Preis von etwa 3 Gulden (ausgezeichnet gute sind noch theuerer) nicht zu scheuen. Zur Prüfung kann man sie neben einem bewährten Thermometer in Wasser senken, dessen Temperatur sehr langsam erhöhen oder erniedrigen, und dann vergleichen; ausserdem trennt

sich oft ein Theil des Quecksilberfadens, und in diesem Fall darf man nur dieses Stück in der Röhre hin und her gleiten lassen und messen, ob es stets gleichen Mengen der auf der Skale verzeichneten Grade gleich ist. Hat sich ein Theil des Fadens getrennt was sich auch durch etwas Schütteln bewirken lässt, dann ist nöthig, die Vereinigung wieder herzustellen, was dadurch geschieht dass man das Thermometer oben anfasst und stark im Kreise herumschwingt, oder mit der Hand, worin man das Thermometer zwischen drei Fingern lothrecht herabhängend festhält, auf die andere Hand schlägt, um eine starke Erschütterung hervorzubringen.

4) In sehr tiefen Graden der Kälte, wie sie in hohen nördlichen und südlichen Ländern der Polarzonen vorkommen, gefriert auch das Quecksilber, und kann daher nicht mehr zum Messen der Wärme verwandt werden. Für diese Zwecke dienen c) die mit gefärbtem Weingeist gefüllten Thermometer, da diese Flüssigkeit bis jetzt durch natürliche Kälte nicht zum Gestehen gebracht ist. Man hat nicht ohne Grund rectificirtes Petroleum und noch mehr Schwefelkohlenstoff, mit etwas Carmin gefärbt, für Thermometer empfohlen, weil beide Flüssigkeiten hohe Kälte ertragen und sich regelmässiger ausdehnen, als Weingeist.

Mit Ausnahme der Messungen sehr hoher Kältegrade haben die Quecksilberthermometer entschiedene Vorzüge, denn die Ausdehnung des Weingeistes ist zwar grösser, allein minder regelmässig, die Flüssigkeit siedet leichter als Wasser, und in den tiefen Kältegraden sind die daraus verfertigten Thermometer sehr unsicher, weil der Alkohol nicht wohl ganz wasserfrei zu erhalten ist, und die färbende Substanz der Regelmässigkeit der Ausdehnung Abbruch thut. Man pflegt wohl statt der Kugeln Cylinder oder birnförmige Gefässe zu wählen, sie muschelförmig einzubiegen, abzuflachen, zu spalten oder spiralförmig zu winden; allein alle solche Künsteleien sind unnütz, die Kugel dagegen und die flachen Röhren verdienen den Vorzug, die letzteren, weil ein flacher Quecksilberfaden leichter gesehen wird.

5) Um die Wärme mittelst der Thermometer zu messen, müssen diese unter sich genau übereinstimmen, und man hat daher

zwei Puncte angenommen, die sich überall gleichmässig darstellen lassen, und demnach die zwei festen Puncte genannt werden. Den einen derselben, den Punct des schmelzenden Eises, auch wohl Gefrierpunct, Eispunct, Nullpunct genannt, erhält man, wenn man reinen Schnee (weniger gut zerstossenes Eis) in ein Gefäss, etwa ein Trinkglas, füllt, an einem mässig warmen Orte so weit erweichen lässt, dass er vom Wasser durchdrungen ist, ohne dass sich jedoch letzteres von ihm abgiessen lässt, und dann das zu prüfende Thermometer hineinsenkt, anhaltend mit frischen Theilen in Berührung bringt, und damit etwa zehn Minuten fortfährt. Das Quecksilber sinkt bald auf eine gewisse Tiefe, und bleibt dort stehen, ohne im mindesten weiter zu sinken, ein Beweis, dass der feste Punct erreicht ist. Um ihn zu bezeichnen, kann man einen feinen Faden, am besten einen sehr dünnen Silber- oder Platin-Draht, um die Röhre binden, und während der Operation genau an die eigentliche Stelle schieben; ein feiner Pinselstrich mit schwarzem Bernstein- oder Oelfirniss genügt gleichfalls; das mehrfach empfohlene Ritzen mit einem Feuerstein oder einer Feile ist aber bedenklich, weil die Röhren dann an diesen Stellen leicht abbrechen.

Den zweiten festen Punct, Kochpunct, Siedepunct, Punct des siedenden Wassers genannt, erhält man fast völlig genau, wenn man Regen- oder Schneewasser in einem irdenen Topfe zum Sieden bringt, und die Thermometerkugel etwa 1 Zoll tief und 2 Zoll vom Boden entfernt einige Minuten in dasselbe eingetaucht hält, bis man sieht, dass das obere Ende des Quecksilberfadens seinen Stand nicht mehr ändert. Zur sicheren Bestimmung wird ein Gefäss erfordert, worin das Wasser anhaltend siedet, und ein anderes, hierüber gestürztes, welches unter seinem oberen Deckel dem Wasserdampfe einen Ausweg gestattet, und in welches man durch eine Dille das ganze Thermometer so herablassen kann, dass bloss das obere Ende zum Beobachten des Quecksilberfadens herausragt, der übrige Theil aber, ohne Berührung des Wassers, vom Dampfe völlig umgeben ist. Für Thermometermacher ist dieser Apparat unentbehrlich, ein blosser

Topf mit siedendem Wasser genügt aber, um zu versuchen, ob der Siedepunct überhaupt annähernd genau bestimmt, oder ganz falsch ist. Verlangt man absolute Genauigkeit, so dürfte der Siedepunct nur dann bestimmt werden, wenn der corrigirte (§. 137.) Stand des Barometers 336,9 Lin. par. Maas (28 Z. $^{9}/_{10}$ Lin.) beträgt, oder man müsste für jede Linie der beobachteten Barometerhöhe über oder unter diesem Stande von der ganzen Länge zwischen dem gefundenen Null- und Siedepuncte fast den tausendsten Theil dieser Länge abziehen, oder ihn hinzusetzen, und die so erhaltene Länge in die erforderlichen Grade theilen. Die Verbesserung ist, wie man sieht, sehr unbedeutend.

6) Das hier beschriebene Verfahren passt zunächst für Quecksilberthermometer; bei Weingeistthermometern und solchen, die mit Petroleum oder Schwefelkohlenstoff gefüllt sind, thut man wohl, den Gefrierpunct auf gleiche Weise zu bestimmen, dann aber einen etwa in der Mitte der Skale liegenden Punct dadurch zu finden, dass man das Thermometer neben einem geprüften Quecksilberthermometer so lange in heiss erhaltenem Wasser unter stetem Umrühren hält, bis beide ihren Stand eine hinlängliche Zeit nicht ändern. Ist dieser Punct gefunden, so theilt man die Skale vom Gefrierpuncte an in die gehörigen Grade, und trägt dann oberhalb bis zum Siedepuncte gleiche Grade auf, die zwar nicht völlig genau sind; allein Weingeistthermometer sind überall nicht geeignet, die dem Siedepuncte nahe liegenden Temperaturen zu messen, weil sich der Weingeist ungleich ausdehnt. Die Bezeichnung des gefundenen Siedepunctes, oder des aus Vergleichung entnommenen mittleren geschieht auf die für den Nullpunct angegebene Weise. Es ist aber noch zu bemerken, dass der Nullpunct der Thermometer sich zu verändern, und eine Kleinigkeit höher hinaufzurücken pflegt, hauptsächlich dann, wenn sie etwas grosse Gefässe haben. Man thut daher wohl, wenn genaue, auch nur Wetterbeobachtungen verlangt werden, die Kugeln der bei der Prüfung als richtig befundenen Thermometer ungefähr alle vier oder sechs Wochen nur etwa eine Minute lang in siedendes Wasser zu senken.

7) Den Raum zwischen dem Gefrierpuncte und Siedepuncte theilt man in eine gewisse Menge gleicher Theile, setzt diese auch unter dem Nullpuncte fort, wobei man ihnen der Kürze und Bequemlichkeit wegen das Minuszeichen (—) vorsetzt, und erhält auf diese Weise die verschiedenen Thermometerskalen. Wir wollen hier bei der Reaumur'schen oder achtzigtheiligen Skale stehen bleiben, und wenn in der Folge von Graden des Thermometers die Rede ist, so werden stets solche verstanden, wonach die Skale zwischen den beiden festen Puncten in 80 gleiche Theile getheilt ist. Eine andere sehr gangbare Skale, die Celsius'sche, centesimal- oder hunderttheilige, Skale enthält 100 gleiche Theile zwischen den beiden festen Puncten. Man erkennt beide leicht daran, dass bei jener die Zahl 80, bei dieser aber 100 bei'm Siedepuncte steht. Beide Grade lassen sich leicht in einander verwandeln, wenn man nur merkt, dass 4 Grade R. 5 Grade C. geben, also 4; 8; 12; . . . 40 . . . Grade R. 5; 10; 15; . . . 50 . . . Graden C. u.s.w. gleich sind, und umgekehrt; im Allgemeinen muss man jedem Grade R. $^1/_4$ zusetzen, um die Grade C. zu erhalten, oder umgekehrt abziehen, wenn man die Grade C. in die R. verwandeln will. Schwieriger ist dieses bei einer dritten, namentlich in England üblichen, Skale, der Fahrenheit'schen oder kurz F. Nach dieser wird der Raum zwischen den beiden festen Puncten in 180 gleiche Theile getheilt, zugleich aber der Nullpunct nicht in den Gefrierpunct des Wassers gelegt, sondern 32 Theile tiefer, so dass also in den Nullpunct R. 32 und in den Siedepunct 212 fällt. Hiernach geben 180 Grade F. 80 Grade R. oder 9^0 F. sind 4^0 R.; allein hierbei müssen die unter 0^0 R. liegenden 32^0 F. berücksichtigt werden. Da die Reduction dieser Grade auf einander schwierig ist, so hilft man sich am besten durch eine Tabelle, wie die folgende, in welcher F. die Fahrenheit'schen Grade, R. die zugehörigen Reaumur'schen, die rechts vom Puncte stehenden Zahlen aber Neuntelgrade bezeichnen. Für jeden folgenden Grad darf man dann nur $^4/_9$ hinzu addiren, oder von 0^0 bis 32^0 abziehen.

F.	R.	F.	R.	F.	R.	F.	R.
0.	—14.2	52.	8.8	104.	32.0	156.	55.1
4.	—12.4	56.	10.6	108.	33.7	160.	56.8
8.	—10.6	60.	12.4	112.	35.5	164.	58.6
12.	— 8.8	64.	14.2	116.	37.3	168.	60.4
16.	— 7.1	68.	16.0	120.	39.1	172.	62.2
20.	— 5.3	72.	17.7	124.	40.8	176.	64.0
24.	— 3.5	76.	19.5	128.	42.6	180.	65.7
28.	— 1.7	80.	21.3	132.	44.4	184.	67.5
32.	0.	84.	23.1	136.	46.2	188.	69.3
36.	1.7	88.	24.8	140.	48.0	192.	71.1
40.	3.5	92.	26.6	144.	49.7	196.	72.8
44.	5.3	96.	28.4	148.	51.5	200.	74.6
48.	7.1	100.	30.2	152.	53.3	204.	76.4

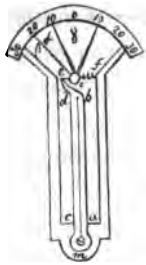
Sind dagegen R. Grade in F. Grade zu verwandeln, so beträgt 4 R. 9 F., also 1 R. $2^1/_4$ F. In der nachfolgenden Tabelle bezeichnen daher die rechts vom Puncte stehenden Ziffern: Viertel, und man darf, um die zwischenliegenden Grade zu erhalten nur zu den vorhergehenden für jeden Grad R. $2^1/_4$ F. hinzusetzen bis — 14^0 R. aber abziehen.

R.	F.	R.	F.	R.	F.	R.	F.
— 22.	—17.2	4.	41.0	30.	99.2	56.	158.0
— 20.	—13.0	6.	45.2	32.	104.0	58.	162.2
— 18.	— 8.2	8.	50.0	34.	108.2	60.	167.0
— 16.	— 4.0	10.	54.2	36.	113.0	62.	171.2
— 14.	0.2	12.	59.0	38.	117.2	64.	176.0
— 12.	5.0	14.	63.2	40.	122.0	66.	180.2
— 10.	9.2	16.	68.0	42.	126.2	68.	185.0
— 8.	14.0	18.	72.2	44.	131.0	70.	189.2
— 6.	18.2	20.	77.0	46.	135.2	72.	194.0
— 4.	23.0	22.	81.2	48.	140.0	74.	198.2
— 2.	27.2	24.	86.0	50.	144.2	76.	203.0
0.	32.0	26.	90.2	52.	149.0	78.	207.2
2.	36.2	28.	95.0	54.	153.2	80.	212.0

8) Die Skalen, auf denen man die Thermometer befestigt, werden von Holz gemacht und mit Papier überzogen; von Elfenbein, von Messing oder übersilbertem Kupfer, oder sie bestehen aus einer Glasröhre, welche einen mit der Theilung versehenen Papierstreifen einschliesst. Alle diese Einrichtungen sind an Güte nicht wesentlich verschieden, wenn man nur Sorge trägt, dass die festen Puncte des Röhrchens genau auf den zugehörigen Bezeichnungen der Skale liegen, auch verderben hölzerne und metallene Skalen, wenn man sie oft in Flüssigkeiten eintauchen muss. Am allgemeinsten und sichersten ist daher der Gebrauch derjenigen Thermometer, bei denen die Skale mit Flusssäure auf die Röhre geätzt ist.

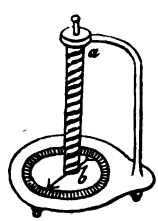
9) Meistens enthalten die Skalen bloss die Grade von 0^0 bis 80^0, und haben dann noch etwa 20^0 bis 30^0 unter 0^0, auch würde es bei Quecksilberthermometern überflüssig seyn, noch tiefere Grade aufzunehmen, als bei welchen das Quecksilber gefriert; Weingeistthermometer dagegen können immerhin bis etwa 80^0 unter 0 herab gehen, da der reine Alkohol bis zu dieser Kälte flüssig bleibt. Mittelst der Quecksilberthermometer lassen sich übrigens, wenn man gehörige Vorsicht anwendet, auch höhere Temperaturen, z. B. der siedenden Salzlösungen und Oele, bis etwa 280^0 messen; dann aber müssen die Röhren über diesem höchsten Puncte der Skalen in einen etwas erweiterten Raum aufgeblasen seyn, um einen Theil des Quecksilbers aufzunehmen, wenn es in der Kugel zum Sieden kommt. Bei den Quecksilberthermometern, die im Allgemeinen als die besten gelten können, hat man gefunden, dass sie die Temperaturen von etwa -15^0 bis $+120^0$ völlig genau, d. h. mit dem absolut richtigen Luftthermometer (§. 1.) übereinstimmend angeben, in den höheren Temperaturen aber eilen sie diesem voraus. Inzwischen ist die Abweichung gering, und beträgt für 240^0 erst 1^0, bei 260^0 etwa $1^1/_2$, bei 280^0 etwa $2^1/_2$ zu viel, die man also von den beobachteten Graden abziehen müsste.

10) Zum Messen der Wärme dienen ausserdem die Metallthermometer, deren drei wegen ihrer Brauchbarkeit Beachtung



verdienen. Das erste derselben besteht aus einer zusammengelötheten Stange Zink und Eisen *a b*, *d c*, welche unten auf dem messingenen Rahmen festgeschraubt, oben aber mit dem krummen Arme *e* versehen sind. Am Ende des letzteren ist ein feiner Draht befestigt, um die Rolle *c* geschlungen und durch die Spiralfeder *f* straff gezogen. Da die Wärme das Zink stärker als das Eisen ausdehnt, so biegt sich die Stange bei zunehmender Temperatur krumm, der Arm *b* bewegt sich seitwärts, zieht den Draht an, und dadurch wird die Rolle mit dem auf ihr befestigten Zeiger umgedreht, welcher dann auf die zugehörigen Grade zeigt, die durch Vergleichung mit einem richtigen Quecksilberthermometer bestimmt sind. Das zweite besteht aus einem Uhrgehäuse mit einem Bügel

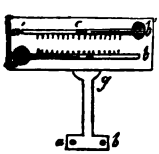
i g h, welcher aus einer zusammengelötheten Uhrfeder und Messingfeder verfertigt ist. Da auch diese beiden Metalle sich durch die Wärme ungleich ausdehnen, so zieht sich dieser Bügel, wenn die Stahlfeder den inneren Theil desselben bildet, durch erhöhete Temperatur mehr zusammen, drückt gegen den kleinen Hebelarm, dessen anderer Schenkel den gezahnten Bogen bewegt, welcher dann das kleine Rädchen und den an ihm befestigten Zeiger umdrehet. Das dritte endlich, das bekannteste von allen, ist das durch den Uhrmacher Breguet erfundene Metallthermometer. Es besteht aus der Spirale *a b*, welche aus zwei



dünnen, mittelst zwischenliegendem Blattgold auf einander gelötheten, Blechen Platin und Silber geschnitten, schraubenförmig umgewunden, oben an einem messingenen Bügel befestigt und unten mit einem Zeiger versehen ist, dessen Spitze über der horizontalen Skale umläuft, wenn der gewundene Streifen durch ungleiche Ausdehnung der beiden Metalle weitere oder engere Windungen erhält. Einige Künstler

winden den Streifen spiralförmig auf, befestigen das äussere Ende flach liegend in einem kleinen Gehäuse, und verbinden das andere mit einem Hebelarme, welcher die verticale Axe eines horizontalen Zeigers dann umdrehet, wenn sich die Spirale durch ungleiche Ausdehnung der beiden Metalle mehr öffnet oder schliesst.

11) Zum Messen der Temperaturen zu den Zeiten, wenn man nicht wohl beobachten kann, dienen die selbstregistrirenden Thermometer. Die wichtigsten unter diesen sind: a) das S. 16. *Fig. 1.* erwähnte Metallthermometer, wenn man dasselbe mit den beiden fliegenden Zeigern β und γ versieht, die durch den Hauptzeiger α rechts und links auf die erreichten höchsten und geringsten Grade geschoben werden, und daselbst stehen bleiben*). b) das zweite ist das bekannte, von *Rutherford* erfundene, Maximum- und Minimum-Thermometer, auch Thermometrograph genannt.

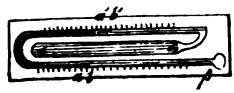


Es besteht aus einem Weingeistthermometer *a b* und einem Quecksilberthermometer *a′ b′*, welche beide horizontal auf einer geäzten gläsernen Skale befestigt sind. In dem Faden des Weingeistthermometers befindet sich bei *c* ein kleines Glasstängelchen mit einem schwarzen Knöpfchen am Ende; vor dem Quecksilberfaden im anderen Thermometer liegt ein kleiner Stahl-

*) Nach einer Nachricht in der Leipz. Zeit. 1846 N. 184. ist ein solches, vom Engländer *Crichton* erfundenes, Thermometer zu Dresden in einem grossen Massstabe ausgeführt, um vom Publicum, welches sich gegenwärtig für die Kenntniss der wechselnden Temperaturen allerdings interessirt, beobachtet zu werden. Die Idee verdient Beifall und Nachahmung. Mehrjährige frühere Beobachtungen haben mich überzeugt, dass die Thermometer dieser Art sehr empfindlich und genau sind; die einzige, bei der Ausführung im Grossen zu überwindende, Schwierigkeit dürfte darin liegen, die Skale genau richtig zu zeichnen; übrigens ist es nicht nöthig, und sogar nicht rathsam, das Instrument sehr hoch aufzustellen, und daher in einem übergrossen Massstabe auszuführen. Wichtiger ist, dasselbe an einem Orte anzubringen, wo es an der Nordseite dem blossen Einflusse der Luft ausgesetzt und gegen sonstige Einflüsse geschützt ist. (§. 25.)

stift. Man drehet dann die in einem Scharniere bewegliche gläserne Skale in eine verticale Lage, so dass b, b' unten zu stehen kommt, wodurch das Stängelchen des Weingeistthermometers bis an's Ende des Weingeistfadens, der Stahlstift aber bis auf den Quecksilberfaden herabgleitet. Hat man hierauf den horizontalen Stand ohne Erschütterung wieder hergestellt, so zieht der sich zusammenziehende Weingeist das Stängelchen mit sich, und lässt es auf dem Puncte der grössten Kälte liegen, bei steigender Wärme aber schiebt der Quecksilberfaden den Stift vor sich hin und lässt ihn auf dem Puncte der grössten Wärme liegen; beim Nachsehen kann man daher die höchste und tiefste unterdess stattgefundene Temperatur auf der Skale ablesen.

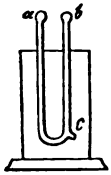
c) das dritte ist das nach seinem Erfinder *Six* benannte Six-



thermometer. Es besteht aus einem mit Weingeist gefüllten Cylinder $\alpha\,\alpha$ mit einer zweimal um diesen gebogenen engen Röhre, in welcher sich ein Quecksilberfaden $a\,a$ befindet, vor dessen Enden die kleinen Stiftchen $a\,b$; $a'\,b'$ liegen. Dehnt sich der Weingeist aus, so treibt er den Quecksilberfaden vor sich hin und dieser schiebt den Stift fort, lässt ihn aber bei'm Rückgange liegen. Man übersieht leicht, dass der eine der beiden Stifte den höchsten, der andere den tiefsten Stand des Thermometers während der verflossenen Zeit angeben muss, und der Apparat, mittelst dessen man auch die Temperatur in der Tiefe des Meeres und in unzugänglichen Gruben zu messen pflegt, würde sehr brauchbar sein, wenn die Stiftchen nicht zu leicht durch Erschütterung ihren Ort veränderten, weswegen man sie mit federnden Haaren versehen hat, und durch einen genäherten Magnet wieder an ihren Ort bringt, ohne hierdurch den Uebelstand gänzlich zu beseitigen. Man bedient sich daher zu den genannten Zwecken, namentlich zum Messen der Temperatur in tiefen Bohrlöchern, des von *Magnus* erfundenen Geothermometers (Erdwärmemessers), eines Quecksilberthermometers, aus dessen offener Spitze so viel Quecksilber ausläuft, als der höheren Temperatur angemessen ist, die man also hierdurch zu messen vermag. Ausserdem

hilft man sich dadurch, dass man ein gewöhnliches Thermometer in eine dicke Hülle von Substanzen einschliesst, welche die Wärme schwer durchlassen, als Unschlitt, Wolle, Werg u. s. w., dieses an den zu untersuchenden Ort herabsenkt und daselbst so lange verweilen lässt, bis es die Temperatur der Umgebung sicher angenommen hat, und dann schnell heraufzieht, um es zu öffnen und abzulesen.

12) Kleine Veränderungen der Wärme misst man mittelst der (§. 2.) beschriebenen Luftthermometer; ausserdem aber bedient



man sich hierzu der von *Leslie* erfundenen Differentialthermometer, auch Photometer, seltener Hygrometer genannt. Sie bestehen, in grösserem oder kleinerem Massstabe ausgeführt, aus zwei, durch eine etwas weite Thermometerröhre verbundenen Glaskugeln *a; b*, und sind in verticaler Stellung auf einem, die in willkürliche Theile getheilte Skale enthaltenen Brettchen befestigt. Die Röhre enthält am besten gefärbten Weingeist, welchen man bei'm Verfertigen in beide Kugeln vertheilt, und erhitzt, bis nur die gehörige, zum Füllen der Röhre hinreichende, Menge zurückbleibt, der Rest aber als Dampf aus der Spitze *c* entweicht. Letztere wird noch während des Siedens mit etwas Siegellack verschlossen, nach dem Erkalten mit der Weingeistflamme und dem Löthrohre zugeblasen, worauf dann der Rest des gefärbten Alkohols in beiden Schenkeln der krummen Röhre gleich hoch steht, vorausgesetzt, dass beide Kugeln luftleer, und bloss mit Weingeistdampf erfüllt sind. Steigt die Wärme der einen Kugel, so drückt deren mehr elastischer Dampf auf die Flüssigkeitssäule, und deren Länge wird in beiden Schenkeln ungleich, zeigt einen Unterschied, eine Differenz, woher der Name Differentialthermometer kommt. Wird die eine Kugel mit schwarzer Farbe überzogen, oder aus schwarzem Glase verfertigt, während die andere aus durchsichtigem Glase besteht, so erzeugt das auf sie fallende Licht in ihr eine grössere Wärme, und die Flüssigkeit sinkt in der mit ihr verbundenen Röhre um so mehr, je stärker das Licht ist, weswegen der Apparat auch Photometer (Lichtmesser)

heisst, und für diesen Zweck vorzugsweise verwandt wird. Die Verdunstung des Wassers erzeugt Kälte, und ist soviel stärker, je trockner die Luft ist. Wenn man daher die eine Kugel des Instrumentes benetzt, so wird sie um so kälter werden, mithin die Flüssigkeit in der zugehörigen Röhre so viel höher steigen, je stärker die Verdunstung, also auch je trockner die Luft ist. Man hat also hierin ein Mittel, die in der Luft vorhandene Feuchtigkeitsmenge zu messen, weswegen der Apparat auch Hygrometer genannt wird, obgleich man ihn hierzu seltener anwendet, weil man andere bessere für diesen Zweck hat. Ehemals wurden die Differentialthermometer, die man mit Beibehaltung der Hauptsache, nämlich der Ausdehnung des Weingeistdampfes durch Wärme in ungleichen Grössen, und unter verschiedenen Namen, z. B. Mikrocalorimeter nach *Rumford*, ausführte, zum Messen geringer Wärmegrade viel gebraucht, gegenwärtig aber sind sie durch die noch weit empfindlicheren thermoelektrischen Messwerkzeuge sehr zurückgedrängt.

13) Durch diese letzteren Apparate vermag man nicht bloss die geringsten Grade der Wärme, sondern auch die höchsten der Hitze wahrzunehmen, welche letztere zu messen man sich lange vergebens bemüht hat. Die unsicheren Mittel, indem man aus der Ausdehnung der Metallstangen auf die Hitze schloss, denen sie ausgesetzt waren, und auch die anfangs sehr hoch aufgenommenen Pyrometer von Wedgwood, führten nicht zum erwarteten Ziele. Letztere bestehen aus kleinen Cylindern eines in Cornwallis gefundenen Thons, welche in der Hitze schwinden, weswegen man die Stärke der Hitze, die auf sie eingewirkt hatte, aus ihrer Zusammenziehung bestimmte, indem man sie nach dem Abkühlen in Wasser zwischen zwei gegen einander geneigte messingene Lineale schob. Es fand sich aber bald, dass die erhaltenen Resultate nicht zuverlässig sind, und gegenwärtig soll die geeignete Thonart nicht mehr vorhanden seyn. Ein anderes Pyrometer, aus einer Stange Platin bestehend, welche auf einer Graphitplatte befestigt durch ihre Ausdehnung den kürzeren Arm eines Zeigers bewegt, dessen längerer die erreichten Grade zeigt,

ist weder bequem, noch hinlänglich sicher. Wirft man hohle, mit einer engen Oeffnung versehene, Kugeln aus Platin nach dem Erhitzen in Wasser, so wird zwar letzteres den Raum einnehmen, welchen die durch die Hitze ausgedehnte Luft vorher erfüllte, und es lässt sich aus der Grösse der stattgehabten Ausdehnung der Luft die erreichte Hitze leicht berechnen; man kann die Kugel auch mit einem langen, engen Haarröhrchen versehen, durch welches die ausgedehnte Luft entweicht, deren Menge dann beim Austritte aus der etwa unter Quecksilber getauchten engen Mündung des Röhrchens gemessen werden müsste, um daraus die Ausdehnung, und somit die erhaltene Hitze zu messen, da sich die Luft vom Nullpuncte an gerechnet für jeden Grad um nahe $^1/_{219}$ ausdehnt, mithin bei 219 Graden schon zur Hälfte entweichen würde. Allein es bedarf hierzu sehr zusammengesetzter Vorrichtungen, deren Behandlung ausserdem vielen und grossen Schwierigkeiten unterliegt. Ein neuerdings aufgefundenes Mittel, um grosse Hitzegrade zu messen, führt vor der Hand, bis wir zu besseren Pyrometern gelangt sind, am leichtesten zum Ziele. Wenn man zwei Metalldrähte, z. B. Kupfer und Eisen, Platin und Eisen, mit ihren einen Enden zusammenschmelzt, und die anderen Enden mit den Enden eines Multiplicators, d. h. eines mit Seide umsponnenen dünnen, vielmals um einen leichten Holzrahmen gewundenen, Kupferdrahtes mit einer innerhalb der Windungen an einem Coconfaden hängenden Magnetnadel verbindet, so darf man die zusammengeschmolzenen Enden nur an den Ort der zu messenden Hitze, z. B. in einen Brennofen, in die Flammen u. s. w., bringen, damit die Magnetnadel abweicht, und zwar um so stärker, je höher die erzeugte Hitze ist. Nimmt man statt der genannten Drähte andere Metalle, namentlich Kupfer und Wismuth, oder Antimon und Wismuth, so weicht die Magnetnadel durch geringe Temperaturunterschiede schon merklich ab, wenn man z. B. die zusammengeschmolzenen oder gelötheten oder auch nur zusammengewundenen Drahtenden in die Blumenkelche, in die zu prüfenden Flüssigkeiten, ja sogar, nachdem sie zu einer Spitze gefeilt sind, in den thierischen, selbst den menschlichen

Körper einsenkt, um die Temperaturen, oft nur die örtlichen und partiellen, zu messen. Werden gleich lange feine Stängelchen Wismuth und Antimon abwechselnd so zusammengelöthet, dass an das Ende einer Antimonstange eine Wismuthstange, an das andere Ende der letztern wieder eine Antimonstange, und sofort bis zu 20, 30, ja 50 Wechseln gelöthet ist, bringt man alsdann die zusammengehörigen Löthstellen des einen Endes der so gebildeten kleinen Säule, und ebenso die des anderen Endes einander möglichst nahe, und verbindet man die beiden äussersten, die eine Wismuth- und die andere Antimonstange, mit einem der beiden Enden der Drähte eines aus vielen Windungen bestehenden Multiplicators, so lassen sich mit einem solchen Apparate die geringsten, nicht einmal den zehnten Theil eines Grades betragenden, Aenderungen der Temperatur wahrnehmen und auch messen.

14) Hiermit sind zwar diese wichtigen Apparate deutlich genug beschrieben, bei einiger Ueberlegung muss man aber von selbst finden, dass die Grade des Kreises, bis wohin die Magnetnadel im gewundenen Multiplicator abweicht, keine Wärmegrade sind, indem vielmehr die Magnetnadel durch den Magnetismus abgelenkt wird, welchen die durch Wärme in den Metallen erzeugte und durch den Multiplicatordraht strömende Electricität erzeugt. Man muss daher für jedes einzelne so construirte Instrument zuvor auffinden, wie viele Grade der Abweichung der Magnetnadel einem Thermometergrade zugehören, eine Operation, die zu den feineren geübter Physiker gehört. Am leichtesten ist dieselbe, wenn man hohe Hitzegrade zu messen beabsichtigt. In diesem Falle schmelzt man einen Eisen- und einen Platin-Draht, auch wohl zwei Platindrähte, die doch stets etwas unter sich verschieden sind, zusammen, was im Knallgasgebläse (§. 59.) geschehen kann, verbindet die andern Enden mit den Enden eines aus etwa 30 bis 50 Windungen eines übersponnenen, $^1/_5$ bis $^1/_4$ Linien dicken Kupferdrahtes bestehenden Multiplicators, in welchem eine einfache Magnetnadel an einem Coconfaden herabhängt, und erhält dann für etwa 10 bis 20 und mehr Wärmegrade nur 1 Grad Abweichung der Magnetnadel, so dass man damit die weit über

100° hinausgehenden Temperaturen messen kann. Für die feinen Messungen dagegen nimmt man Doppelnadeln, d. h. zwei an einem gemeinschaftlichen Drahte oder Holzstäbchen parallel über einander so befestigte Magnetnadeln, dass die Richtungen ihrer Pole einander entgegengesetzt sind. Man nennt diese Nobili'sche Doppelnadeln, auch astatische, weil sie eben durch diese entgegengesetzte Richtung in jeder Stellung zur Ruhe kommen, und sie sind um so mehr astatisch, je genauer beide Nadeln einander gleichen; statt dass sie um so weniger astatisch werden, je mehr die eine stärker ist, als die andere, die dann durch ihr Uebergewicht beide in die Richtung des magnetischen Meridians bringt. Die untere dieser Nadeln kommt zwischen die Windungen des Multiplicators, die andere über dieselben, und dient dann zugleich als Zeiger, statt dass man die einfache Nadel mit einem ihr parallelen, über dem Multiplicator und einem auf diesem befestigten getheilten Kreise befindlichen, aus einem feinen Drahte, einem Grashalm oder einem dünnen Holzstäbchen bestehenden Zeiger zu versehen pflegt.

II.

Ursprung der Wärme.

15) Wenn wir nach dem, was oben in der Einleitung festgesetzt ist, die Wärmeerscheinungen von einem feinen ätherischen Fluidum ableiten, so kann dieses als einfache Substanz dann, wenn es sich wirksam zeigt, nicht erst erzeugt werden, sondern es muss aus irgend einem bereits vorhandenen Orte oder Körper entweder als frei oder aus dem Zustande des Gebundenseyns hervorgehen, und bei seinem Uebergange an einen andern Ort oder zu einem andern Körper die beobachteten Wirkungen zeigen. Möglicherweise könnte alles dieses bloss auf einer grösseren

oder geringeren vorhandenen Menge dieses Fluidums beruhen; es wäre aber auch nach anderen ähnlichen Erscheinungen leicht denkbar, dass nicht bloss eine Vermehrung oder stärkere Concentrirung der vorhandenen Wärme, sondern auch gewisse Bewegungen des ihr zum Grunde liegenden Aethers, oder beide Ursachen vereint die zu untersuchenden Erscheinungen hervorzubringen vermögen. Auf gleiche Weise nimmt man aus überwiegenden Gründen an, dass ein ätherisches, überall durch den ganzen Weltraum verbreitetes, Lichtfluidum die Erscheinungen des Leuchtens bloss durch seine Schwingungen, seine Wellen erzeugt, mit deren Aufhören dann das, was wir Licht nennen, selbst völlig verschwindet. Wir werden im Verfolge der Untersuchungen sehen, auf welche Weise sich die Erscheinungen am besten erklären lassen. Vorläufig wollen wir untersuchen, durch welche Mittel die Wärme vorzugsweise erzeugt und in Thätigkeit gesetzt wird.

A. Sonnenstrahlen.

16) Das erste und vorzüglichste Mittel der Wärmeerzeugung geben das Licht und vorzüglich die Sonnenstrahlen. Betrachten wir vorläufig bloss das Thatsächliche, so giebt das Licht allezeit eine seiner Stärke proportionale Wärme. Dunkle Zimmer und sonstige Räume haben stets eine geringere Temperatur, als sie unter übrigens gleichen Umständen bei stattfindender Erhellung haben würden, und wenn man ein feines Leslie'sches Differentialthermometer (§. 12.) mit einem undurchsichtigen Deckel verschlossen hält, und dann an einem mehr oder weniger durch Tagslicht erhellten Orte plötzlich entblösst, so gewahrt man sofort ein Sinken der Flüssigkeit in dem der schwarzen Kugel zugehörigen Röhrchen. Das Tagslicht, und noch mehr die directen Sonnenstrahlen, geben unserer Erde die tägliche Wärme, die an heiteren Tagen am stärksten ist, und mit der Dauer der Lichteinwirkung steigt, also an den längsten Tagen und nach dem höchsten Stande der Sonne um Mittag die höchsten Grade erreicht.

17) Dass die durch Brenngläser und Brennspiegel vereinten

(concentrirten) Sonnenstrahlen die stärkste Glühhitze erzeugen, ist allgemein bekannt, und wird durch folgende Betrachtung erklärlich. Lässt man bei heiterem Wetter die Sonnenstrahlen auf die Hand fallen, so fühlt man eine Vermehrung der Wärme, die wir, um irgend eine Bestimmung zu erhalten, nicht übertrieben nur zu 5^0 annehmen wollen. Wenn nun die gesammten, auf die Fläche des Brennspiegels oder der Brennlinse fallenden, Sonnenstrahlen zu einem kleinen Sonnenbilde im sogenannten **Brennpuncte** vereinigt werden, so muss ihre Wirkung um so viel stärker seyn, als der sie aufnehmende Raum kleiner ist. Da das scheinbare Sonnenbild (die Grösse der Sonne, wie wir sie sehen) stets sehr nahe sich gleich bleibt, die Kleinheit des erzeugten Bildes aber von der Brennweite des Spiegels oder der Linse abhängt, so ergiebt die Berechnung, dass die Verkleinerung des Bildes $\frac{1}{1166^4}$stel des Quadrates der Brennweite beträgt, und man darf daher diese Grösse nur in das Quadrat des Durchmessers der Linse oder des Spiegels dividiren, um die Stärke der erzeugten Wärme zu finden, die der nicht concentrirten Strahlen als Einheit angenommen. Betrüge also der Durchmesser einer Brennlinse 3 Zoll, ihre Brennweite 24 Zoll, so wäre die durch sie erzeugte Vermehrung der Wärme $= \frac{3^2}{\frac{1}{1166^4} \times 24^2}$, welches gerechnet $182^1/_4$ giebt, mithin betrüge die Hitze, wenn die der nicht concentrirten Strahlen $= 5^0$ angenommen wird, $182^1/_4 \times 5^0 = 911^1/_4$ Grade, eine Hitze, die einen geeigneten Körper zum vollständigen Weissglühen bringt, mithin auch verbrennliche Körper, als Schwamm, Holz u. s. w., entzünden muss. Macht man die Brennlinsen grösser und ihre Brennweiten kleiner, so wird die Brennkraft im Verhältniss des Quadrates beider grösser. Betrüge also der Durchmesser der Linse bei gleicher Brennweite doppelt so viel, also 6 Zoll, so würde die Hitze auf das Vierfache steigen; woraus dann die ungeheure Brennkraft grosser Linsen erklärlich wird; wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass ein Theil der Wärmestrahlen durch Verschluckung im Glase verloren geht, und zwar ein um so grösserer, je dicker und je trü-

ber die Linse ist. Bei klaren Linsen von 2 bis 3 Zoll Durchmesser steigt dieser Verlust schon auf etwa ein Zehntel. Eben daher darf man sich durch die auffallende Brennkraft der Linsen nicht zu dem Irrthume verleiten lassen, als ob durch sie die absolute Wärmemenge der Sonnenstrahlen vermehrt würde, vielmehr fallen nach Rumford's Versuchen durch eine Oeffnung in einem Brette mehr Wärmestrahlen, als wenn in diese eine sie ganz ausfüllende Linse eingesetzt ist.

18) Wir haben die Intensität (Stärke) der freien Sonnenstrahlen zu 5^0 angenommen, allein diese Bestimmung ist nur eine ungefähre, und die erzeugte Wärme ist in der Wirklichkeit bedeutend sowohl grösser als auch kleiner. Dieses hängt, ausser der bereits erwähnten Richtung der auffallenden Sonnenstrahlen, die desto wirksamer sind, je gerader sie auffallen, von zwei wesentlichen Bedingungen ab, zuerst von der Klarheit des Himmels, und zweitens von der Beschaffenheit der Körper, die ihnen ausgesetzt sind. Rücksichtlich des ersten Punctes werden die Sonnenstrahlen ausnehmend geschwächt, wenn die Luft mit Dünsten beladen ist, und dicke Wolken benehmen ihnen fast alle Kraft. Sofern dieses allgemein bekannt ist, will ich nur einige besondere Beispiele erwähnen. Fallen die Sonnenstrahlen durch einen sehr durchsichtigen Körper, so geben sie diesem nur wenig Wärme ab, weswegen man aus klarem Eise Brennlinsen verfertigen kann, die bei sehr klarem Himmel und etwa 5^0 Kälte selbst nicht schmelzen, wohl aber Körper in ihrem Brennpuncte entzünden. (§. 116). Wegen der Klarheit und Durchsichtigkeit der Luft in hoch nördlichen Gegenden schmilzt daher das Pech an den Schiffen in den Sonnenstrahlen, und selbst der Schnee auf den Dächern bei einer Kälte, die 10, ja 20 und mehr Grade unter dem Gefrierpuncte erreicht; auch wird daraus erklärlich, dass in den wenigen Wochen des kurzen Sommers von Mitte Juni bis Mitte oder Ende August im nördlichen Sibirien bei den langen Tagen Gerste und Früchte reifen, ungeachtet der Boden nur etwa 4 bis 2 Fuss tief aufthauet, in grösserer Tiefe aber stets gefroren bleibt. Hierbei ist dann auch der Umstand mitwirkend,

dass der schwarze, von unten stets feucht erhaltene, Boden in den sehr langen Tagen eine unglaubliche Wärme und fruchttreibende Kraft erhält.

19) Von grösstem Einflusse ist nämlich zweitens die Beschaffenheit der Körper, auf welche die Sonnenstrahlen fallen. Uebergehen wir die erwähnten durchsichtigen Körper, welche die Strahlen durchlassen, so werden die Sonnenstrahlen durch glänzende und hauptsächlich auch durch weisse oder überhaupt helle Körper zurückgeworfen, durch schwarze und überhaupt dunkle aber aufgenommen. Minder wichtig dürfte es seyn, auf die Versuche, wodurch die Grösse dieser Wirkungen gemessen sind, näher einzugehen, namentlich auf die des berühmten FRANKLIN, welcher gleich grosse, aber ungleich farbige, Tuchscheiben auf Schnee legte, und die Tiefe mass, bis zu welcher sie in Folge gleich langer Einwirkung der Sonnenstrahlen einsanken; wichtiger dagegen dürfte es seyn, einige bekannte Erscheinungen hieraus zu erklären. Man weiss, wie sehr schwarze Kleider im Sommer heiss machen, weswegen man lieber helle oder weisse wählt; ein Stück weisses Papier entzündet sich im Brennpuncte einer Linse schwer, eine Kohle sehr leicht. Verlangt man für feinere Obstarten eine grosse Wärme, so pflanzt man sie an schwarz oder dunkel angestrichene Wände, und auf diese Weise gelingt es auch im hohen Norden, Kirschen, Pfirsiche und sogar Weintrauben zur Reife zu bringen, wenn man ausserdem für Schutz gegen die heftige Kälte im Winter und die scharfen Winde im Sommer sorgt. Grashalme, Schilfrohr, Stangen u. s. w., welche aus dem Eise hervorragen, werden durch die auffallenden Sonnenstrahlen so stark erwärmt, dass das sie umgebende Eis aufthauet, wie dieses auch bei dem Schnee der Fall ist, welcher einzeln stehende Bäume umgiebt, und wenn Maulwurfshaufen oder kleine Hügel nur so weit entblösst werden, dass Sonnenstrahlen durchdringen, so schmilzt der Schnee an ihnen, und sie ragen entblösst aus der weissen Fläche hervor. Bestreut man den Schnee mit Erde oder Asche, so thauet er früher auf, und in der Schweiz bedient man sich dieses Mittels, um manche Plätze früher zur Vegetation zu bringen. Hier-

nach darf es uns nicht wundern, dass die Krokodile und Schildkröten in Aegypten, in America und sonstigen heissen Ländern ihre Eier in den Sand legen, wo sie ohne weiteres durch die Sonnenstrahlen ausgebrütet werden.

20) Von der grossen wärmeerregenden Kraft der directen Sonnenstrahlen, (die man in den Treibhäusern der Gärten für Pflanzen heisser Gegenden zur Erzeugung einer hohen Temperatur benutzt, weswegen man den Fenstern derselben eine solche Neigung giebt, dass namentlich im Winter die Strahlen lothrecht auf sie fallen, und sie daher leichter durchdringen) kann man sich leicht überzeugen, wenn man die Kugel eines Thermometers mit schwarzer Farbe überzieht, und diese ihnen aussetzt, oder mit noch nützlicherer praktischer Anwendung, wenn man die Kugel eines gewöhnlichen Thermometers auf ein sonniges Feld flach legt, noch mehr, wenn man die auch nicht gefärbte Kugel etwa 1 Zoll tief unter die frische, namentlich schwarze Erde schiebt, in welchem Falle man im hohen Sommer bis zu 45° gelangen kann. Man hat indess auch Apparate zum eigentlichen Messen dieser durch die Sonnenstrahlen erzeugten Wärme angewandt. Dahin gehört vorzüglich das von DE SAUSSURE gebrauchte Heliothermometer, ein hölzerner, aussen und innen schwarz angestrichener, mit einer eingerahmten Glasscheibe genau verschlossener Kasten. In diesen legte er ein Thermometer, und richtete ihn so gegen die Sonne, dass ihre Strahlen lothrecht auf die Glasfläche fielen, wodurch dann im Innern eine über die Siedehitze des Wassers hinausgehende Hitze erzeugt wurde. Es leuchtet ein, dass man mit diesem Apparate, wenn man ihn an verschiedenen Tagen gleich lange Zeit den Sonnenstrahlen aussetzt, die ungleiche erwärmende Kraft derselben messen kann. Noch eigentlicher zum Messen dient das vom jüngeren HERSCHEL erfundene Aktinometer (von aktin, der Strahl), ein mit einer Auflösung von schwefelsaurem Kupferamoniak gefüllter, mit einer in willkührliche Theile getheilten Glasröhre versehener gläserner Cylinder. Mittelst eines unten im Cylinder befindlichen Kolbens lässt sich das obere Ende des Fadens der Flüssigkeit bei jeder Tem-

peratur auf 0 der Skale stellen, während sich der Apparat im Schatten befindet, und wird er dann gerade eine Minute lang den Sonnenstrahlen ausgesetzt, so dehnt die erzeugte Wärme die Flüssigkeit aus, und die erreichten Grade der Skale geben ein vergleichbares Maass derselben. In Russland werden die Beobachter auf den meteorologischen Stationen ausser einem im Freien im Schatten aufzuhängenden Thermometer auch mit einem solchen versehen, welches eine geschwärzte Kugel hat und auf einem geschwärzten Brette befestigt der Sonne ausgesetzt wird, um hierdurch eine Vergleichung der Intensität der Sonnenstrahlen zu erhalten.

21) Von der Einwirkung der Sonnenstrahlen hängt vorzugsweise das ab, was wir die Temperaturen der Orte nennen, deren Kenntniss nicht bloss an sich von hohem Interesse ist, wenn wir die unerträgliche Hitze mancher Gegenden unter der Linie mit der unglaublichen Kälte in der Nähe der Pole mit einander vergleichen, sondern uns auch die Ursachen kennen lehrt, wegen welcher die verschiedenen Pflanzen und Thierarten gewissen Gegenden eigenthümlich zugehören, statt dass der Mensch die Einflüsse der ungleichsten Klimate zu ertragen vermag, weil durch den allmächtigen Schöpfer der Natur weislich dafür gesorgt ist, dass er überall die für die örtlichen Einflüsse geeignetsten Mittel des Unterhaltes findet. Wollen wir indess in die Untersuchung der klimatischen Verhältnisse der verschiedenen Orte unserer Erde etwas näher eingehen, so werden wir uns bald überzeugen, dass diese zwar bei weitem am meisten von der Temperatur abhängen, diese letztere aber keineswegs ausschliesslich durch die Sonnenstrahlen bedingt werde, sondern dass dabei noch folgende Umstände in Betracht kommen:

22) a) Die äussere Rinde unserer Erde ist an verschiedenen Orten ungleich warm, und zwar nicht in der Art, dass die unter dem Aequator so ziemlich überall gleiche sogenannte Bodenwärme unter zunehmenden Polhöhen regelmässig abnimmt, sondern wir finden namentlich unter gleichen Graden nördlicher Breite eine alle Erwartung übersteigende ungleiche Temperatur des Bo-

dens. Wenn wir auf Island eine unerwartet hohe Temperatur des Bodens antreffen, so muss uns dieses weniger überraschen, weil die dortigen vielen Vulcane auch die heissen Quellen erzeugen; allein auch in Norwegen unter etwa 70° N. B. giebt es Orte, wo das Quecksilber in der Regel jährlich durch natürliche Kälte gefriert, dennoch aber nährt der Boden fortwährend Gras und Moose, die den Rennthieren nach weggescharrtem Schnee zur Nahrung dienen, während unter gleichen Breiten in Sibirien, namentlich zu Irkuzk unter etwas über 52° nördlicher Breite, etwas weniges südlicher als Berlin, der Boden nie völlig aufthauet. Jene Gegenden, wie auch zu Irkuzk unter etwas über 62° N. B., sind es denn auch, wo die Sonne den Boden nur etliche Fuss tief aufthauet, und dennoch Früchte zur Reife bringt (§. 18.). Merkwürdig ist dabei der Umstand, dass überall, selbst in dem genannten Eise, die Wärme mit der Tiefe zunimmt, jedoch an den verschiedenen Orten in so ungleichem Maasse, dass man ein genaues Gesetz dieser Zunahme bis jetzt noch nicht aufzufinden vermochte, da sie zwischen etwa 40 Fuss bis mehrere Hundert für 1° Temperatur beträgt, während die zuverlässigsten Messungen ungefähr 125 Fuss Tiefe für 1° andeuten. Man hat hieraus gefolgert, dass die Wärme unserer Erde in gleichem Verhältnisse mit der Tiefe stets zunehme, wonach in etwa 7 Meilen Tiefe schon das stärkste Weissglühen, im Centrum der Erde aber eine unmessbare Hitze folgen würde; allein theils ist dieses nicht durch die Erfahrung begründet, da wir nicht bis zu immer grösseren Tiefen in die Erde zu dringen vermögen, theils kann eine solche Hitze, als aus den Bohrungen bis zu etlichen 1000 Fuss Tiefe gefolgert wird, im Innern der Erde nicht existiren, weil diese alle daselbst befindliche Substanzen nicht etwa schmelzen, sondern in Dampf verwandeln würde. Wie dem auch seyn mag, so ist die Kenntniss der Bodenwärme, die man in den neuesten Zeiten durch Thermometer mit sehr dicken Kugeln und ausnehmend feinen Haarröhrchen, die man von 1 bis 24 Fuss Tiefe in die Erde senkte und ihre hervorstehende Skale ablas, oder durch Wasserflaschen mit gewöhnlichen Thermometern, die man in oben ver-

opfte Bohrlöcher herabgesenkt hatte, für die Beobachtung aber chnell herauszog und ablas, genauer zu erforschen bemüht war, on grosser praktischer Wichtigkeit. Zuerst darf man mit Sicher- eit darauf rechnen, dass man aus Bohrbrunnen Wasser erhält, lessen Wärme um so mehr die der gewöhnlichen Quellen, oder genauer die mittlere des Orts (§. 27.) übertrifft, aus je grösse- rer Tiefe es kommt, wie man denn wirklich bei Paris solches zu erhalten hofft, welches für die Bäder geeignet ist; zweitens aber kann man im Voraus wissen, welche unveränderliche Temperatur in Kellern von gegebener Tiefe das ganze Jahr hindurch herr- schen wird; wenn man sie gegen das Einströmen der äusseren Luft gehörig verwahrt. Die Erfahrung zeigt nämlich, dass der Einfluss der Jahreszeiten bei etwa 30 Fuss Tiefe schon unmerk- lich wird und bei 20 Fuss nur ungefähr 1^0 beträgt, mithin lässt sich in Kellern von dieser Tiefe eine unveränderte, der mittleren des Ortes ungefähr gleiche Temperatur fortdauernd erhalten, was für die Aufbewahrung des Biers, des Weins und sonstiger durch höhere Wärme leicht in Gährung übergehender Substanzen von höchster Wichtigkeit ist. Brächte man in tiefe Keller während des Winters eine gehörige, nicht eben sehr grosse Menge Eis, wobei aber das hiervon abfliessende Wasser entweder versinken oder abgeleitet werden müsste, so könnte man sie das ganze Jahr hindurch bei gehöriger Ausschliessung der äusseren Luft auf einer sehr tiefen Temperatur erhalten (§. 127.) Geringere Tiefen von 5 bis 6 Fuss leisten dieses zwar nicht, sichern jedoch gegen das Erfrieren, weswegen auch Brunnenleitungen, selbst eiserne, die am leichtesten Gefahr leiden, durch das Einsenken unter 4 Fuss Tiefe im mittleren Teutschland und bis etwa 500 Fuss über dem Meeresspiegel gegen das Gefrieren gesichert sind.

23) b) Die Wärme nimmt um so mehr ab, je mehr wir uns von der Ebene in die Höhe erheben. Dieses ist allgemein be- kannt, da jedermann weiss, dass die Spitzen sehr hoher Berge in allen Gegenden der Erde stets mit Schnee bedeckt sind, und es selbst auf minder hohen Bergen schneit, wenn in der Ebene Re- gen fällt, und eine wichtigere Frage kann daher nur die seyn, in

welchem Verhältniss die Wärme mit der Höhe abnimmt, oder wie viele Fuss man sich erheben muss, wenn die Wärme um 1^0 abnehmen soll. Die Naturforscher haben sich viele Mühe gegeben, diese Frage zu beantworten. Zu diesem Ende werden Thermometer an hohen Orten mit denen an tiefer liegenden anhaltend verglichen, z. B. auf dem St. Bernhard und zu Genf; bei'm Ersteigen höherer und sehr hoher Berge pflegt man die mitgenommenen Thermometer von Station zu Station sorgfältig zu beobachten und ihren Stand mit denen zu vergleichen, welche die in der Tiefe zurückgelassenen zeigen, und eben dieses ist etlichemal von denen geschehen, welche in Luftballons aufsteigend sehr grosse Höhen erreichten; allein man ist durch alle diese, vielfach wiederholte, Bemühungen keineswegs zu einem genügenden Resultate gelangt. Im Allgemeinen nimmt die Wärme am schnellsten ab, wenn man sich über einer Ebene lothrecht im Luftballon erhebt, minder schnell bei'm Ersteigen steiler Bergspitzen, am wenigsten über ausgedehnten Bergmassen. Bleiben die verschiedenen hierbei mitwirkenden Ursachen, wonach die Wärmeabnahme unter ungleichen Breitengraden, wie auch nicht minder im Sommer und im Winter, eine verschiedene ist, unberücksichtigt, so darf als eine angenäherte Bestimmung wohl angenommen werden, dass in runder Zahl für eine Höhe von etwa 700 Fuss eine Wärmeabnahme von 1^0 Temperatur zu rechnen sey. Wird diese Bestimmung auf ein nahe liegendes Beispiel angewandt, so beträgt die Höhe über dem Meeresspiegel von Mannheim 307, von München 1597 par. Fuss, also der Unterschied 1290 par. Fuss. Die mittlere Temperatur zu Mannheim wird $= 8^0$, zu München $= 6^2/_5$ Grad angenommen, und der Unterschied beträgt also $1^3/_5$ Grad. Es beträgt aber $700 \times 1^3/_5$ nur 1120, welches von 1290 abgezogen einen Unterschied $=$ 170 Fuss zu wenig giebt, weil München auf einer Hochebene liegt, wobei die Wärmeabnahme etwas geringer ist.

24) c) Es giebt noch verschiedene andere Ursachen, welche auf die Temperatur der Orte einen wesentlichen Einfluss äussern, die wir kurz zusammenfassen wollen. Dahin gehört vorzüglich

die Lage in Beziehung auf die Richtung der Sonnenstrahlen und die herrschenden Winde. Abhänge, welche nach Süden der Sonne ausgesetzt sind, haben eine höhere Temperatur, als die in ihrer Nähe befindlichen von nördlichen Richtungen, wie man dieses insbesondere bei den Abhängen der Berge wahrnimmt. Selbst in Beziehung auf die Wahl der Wohnzimmer verdient dieses Beachtung, insofern die von südlicher Lage, wenn man im hohen Sommer den zu starken Einfluss der directen Sonnenstrahlen abhält, namentlich für schwächliche Personen unzweifelhaft die zuträglichsten sind. In unsern Gegenden sind die südlichen Winde milder und wärmer, die nördlichen und östlichen dagegen trockner und kälter, und wirken, wenn beide Eigenschaften in vorzüglichem Grade vorhanden sind, leicht nachtheilig auf die Vegetation und auch wohl auf die Gesundheit der Menschen; das Klima ist also da milder, wo die kalten Winde durch Berge abgehalten werden, statt dass man ihre Wirkungen vorzugsweise empfindet, wenn sie direct in ihnen ausgesetzte Thäler strömen. Aber nicht bloss die von den kalten nordöstlichen Gegenden, von dem einen Kältepole (§. 29.) herkommenden Luftströmungen haben diese Eigenschaft, sondern auch solche, die von beschneiten Bergkuppen herabsinken, statt dass die über ausgedehnte Ebenen hinstreichenden milder und feuchter sind, weil sie durch die erzeugte Bodenwärme eine höhere Temperatur, und durch den aufgenommenen Wasserdampf einen grösseren Feuchtigkeitszustand erhalten. Grosse Wassermassen unterliegen den Veränderungen der Temperatur ungleich weniger, als ausgedehnte Länder, theils weil sie die auffallenden Sonnenstrahlen zum grossen Theile durchlassen und zurückwerfen (§. 16.), theils wegen ihrer grossen Wärmecapacität §. 119.), in deren Folge sie die einmal angenommene Wärme, in den von ihnen aufsteigenden Wasserdampf gebunden, ihren Umgebungen mittheilen. Hieraus wird dann leicht die Eigenthümlichkeit des Inselklimas erklärlich, welches im Winter wärmer, im Sommer kühler ist, als das der Continente unter gleichen Polhöhen und bei sonstigen gleichen Bedingungen. In England z. B. bleiben die Schafe den ganzen Winter ohne eigentliche Einstallung;

es gedeihet dort aber kein Wein, weil die zum Reifen desselben erforderliche Sommerhitze fehlt; zu Edinburg überwintert die grosse Aloë mit wenig Stroh umgeben im Freien, die Shettländischen und Faröer-Inseln, ja selbst die Aleutischen und Fuchsinseln, haben milde Winter; auf denen dagegen, welche in der äquatorischen Zone liegen, herrscht in der Regel eine erträgliche Temperatur. Dieser Einfluss ist um so stärker, je kleiner der Umfang der Inseln ist, so dass die genannten Wirkungen sich bis in ihr Innerstes erstrecken können; er kann daher bei Küstenländern nur hälftig stattfinden, sofern es einen Unterschied macht, ob die Winde vom Meere oder vom Continente herkommen. Brasiliens Küsten haben daher eine für ihre Lage im Ganzen erträgliche Temperatur, die von Norwegen eine milde, die der vereinigten nordamerikanischen Staaten und von Texas eine stark wechselnde, je nachdem die Winde vom mexicanischen Meerbusen und dem südlichern Theile des atlantischen Oceans, oder von den Eisgefilden Grönlands und des americanischen Kältepoles (§. 29.) herkommen. Im Ganzen wird das Küstenklima durch die angegebene Ursache bedingt, doch giebt es noch einige andere mitwirkende, in deren Folge namentlich allgemein die westlichen Küsten der grossen Continente und vorzugsweise Europas wärmer sind, als die östlichen; doch würde deren Erörterung hier einen für ihre Wichtigkeit zu grossen Raum erfordern. Ehe wir in diesen Betrachtungen fortfahren, müssen wir zuvor die Frage beantworten, was unter der mittleren Temperatur eines Ortes zu verstehen, und wie dieselbe zu finden sey.

25) Wenn man, wie oben (§. 22.), von der mittleren Temperatur, z. B. Münchens, Mannheims u. s. w., redet, so versteht man darunter diejenige, welche ein Thermometer in einem ganzen Jahre nach Ausgleichung der höheren und niedrigeren Grade angiebt. Es ergiebt sich sofort, dass eine solche nur aus der mittleren der einzelnen Tage, dann der einzelnen Monate und endlich der sämmtlichen Monate zusammengenommen zu erhalten sey. Die Messung der Temperatur, namentlich der Lufttemperatur, wovon hier die Rede ist, geschieht mittelst geprüfter Ther-

mometer, die aber von anderweitigen Einflüssen, namentlich von der Einwirkung der Sonnenstrahlen oder sonstiger Wärmequellen, als geheizter Zimmer, Fabrikgebäude u. s. w., ganz frei gehalten werden, und bloss die Wärme der Luft angeben müssen. Man gebraucht daher in der Regel den Ausdruck: Wärme im Schatten, welche nach dem oben (§. 20.) Gesagten allein eine genaue Messung gestattet. Oertliche Einflüsse würde man am vollständigsten ausschliessen, wenn man in einiger Höhe über der Erdoberfläche zur Vermeidung der von der Erde aufsteigenden erhitzten Luft an einem im Freien aufgerichteten Pfahle das Thermometer so aufhinge, dass es von den Sonnenstrahlen nicht direct getroffen würde, ohne zugleich von dem Pfahle die in diesem durch die Sonne erzeugte Wärme anzunehmen, was allerdings schwierig seyn dürfte; auch das Aufhängen an einem stehenden Baume findet darin ein Hinderniss, dass vegetirende Gewächse eine andere Temperatur, als die der umgebenden Luft haben (§. 75.). Um diese Fehlerquellen zu vermeiden und zugleich Bequemlichkeit der Beobachtung zu erzielen, hängt man am besten das Thermometer an der Nordseite eines Hauses im zweiten oder dritten Stock etwa 1 Fuss weit vom Fenster an einem Arme frei schwebend so auf, dass sich die Grade durch die Fensterscheiben ablesen lassen. Hierbei muss man nothwendig verhüten, dass nicht etwa aus dem Fenster eines darunter befindlichen geheizten Zimmers die warme Luft aufsteige, oder dass zur Beobachtungszeit die von benachbarten Gegenständen reflectirten Sonnenstrahlen das Thermometer treffen; zugleich auch ist es vortheilhaft, wenn das Beobachtungszimmer nach einer freien Gegend hin liegt, denn zwischen Häusern eingeschlossene Räume, namentlich in den Städten, erzeugen leicht eine bis selbst einen ganzen Grad erreichende Erhöhung der Temperatur.

26) Die einem gegebenen Tage zugehörige, oder die tägliche Wärme erreicht in unseren Gegenden ungefähr um 2 Uhr Nachmittags den höchsten Punct, ihr Maximum, geht dann allmälig wieder herab, erreicht etwa um Mitternacht, häufiger aber gegen Sonnenaufgang, ihren tiefsten Punct, ihr Minimum. Dieser Gang

ist ziemlich regelmässig, doch giebt es auch verschiedene Schwankungen, wenn sich der heitere Himmel mit Wolken bedeckt, oder der trübe aufklärt, oder ein Gewitter, ein Regenschauer eintritt u. s. w. Je regelmässiger der angegebene Gang stattfindet, desto sicherer darf man auf bleibendes Wetter rechnen; auch kann es beiläufig im Winter als Regel gelten, dass steigende Kälte zu erwarten steht, wenn der Stand des Thermometers am Morgen um die Zeit des Sonnenaufganges niedriger ist, als spät Abends vor Mitternacht. Wollte man die ganze Summe der täglichen Wärme messen, so müsste man jede Veränderung des Thermometerstandes und die Zeit ihrer Dauer aufzeichnen, was sich sofort wohl als unthunlich herausstellt. Zur Förderung der Wissenschaft kommt man diesem Ziele dadurch nahe, dass die Thermometerstände bei Tage und bei Nacht stündlich aufgezeichnet werden, wie dieses jetzt namentlich zu München, Brüssel und an verschiedenen Orten des russischen Reiches geschieht; doch leuchtet von selbst ein, dass nur wenige einzelne Beobachter im Stande sind, die hierzu erforderliche Zeit hierauf zu verwenden. Auf den ersten Blick scheint es, als liesse sich die tägliche mittlere Temperatur durch Ausgleichung der höheren gegen die tieferen leicht erhalten, wenn man das Mittel aus der höchsten und tiefsten nähme, in welchem Falle bloss erfordert würde, nach Angabe des oben (§. 11.) beschriebenen Thermometrographen alle 24 Stunden einmal das Maximum und Minimum zu addiren und durch 2 zu dividiren; allein die Erfahrung hat gezeigt, dass dieses nicht genügende Genauigkeit giebt, obwohl es interessant ist, die Extreme zu kennen, und ihre halbe Summe nicht sehr vom wahren Mittel abweicht.

27) Handelt es sich darum, für einen einzelnen Tag aus wenigen Beobachtungen die wahre mittlere Temperatur zu finden, so lässt sich hierfür wegen der erwähnten vielfachen Einflüsse nicht wohl überall eine Regel angeben, denn oft verspricht ein Tag am Morgen sehr heiss zu werden, geht aber bald in einen kalten über, und so umgekehrt. Inzwischen verlangt man dieses nur sehr ausnahmsweise, und muss sich dann zu stündlichen Be-

obachtungen verstehen. Im Ganzen wünscht man nur die mittleren Temperaturen aller Tage eines ganzen Monates zu kennen, weswegen man täglich zu der nämlichen Stunde beobachtet, oder aus den zu mehreren stets gleichen Stunden gemachten Beobachtungen das Mittel nimmt, dann diese täglichen Beobachtungen summirt und durch die Zahl der Tage theilt. Hierdurch werden die Ungleichheiten schon sehr ausgeglichen; noch mehr geschieht dieses aber, wenn man die mittleren von 3 Monaten addirt und durch 3 theilt, um die mittlere eines Vierteljahres zu erhalten; und noch mehr endlich, wenn man die mittleren aller Tage eines ganzen Jahres addirt, durch die Zahl der Tage dividirt, und so die mittlere des Jahres findet. Dass man statt dieses letzteren Verfahrens auch die mittleren monatlichen addiren und durch 12 theilen, oder die 4 vierteljährlichen zusammenzählen, und durch 4 theilen dürfe, versteht sich von selbst. Die so gefundenen mittleren jährlichen Temperaturen weichen in den einzelnen Jahren nur wenig von einander ab, doch giebt es einzelne wärmere oder kältere Jahre, in denen die ungewöhnliche Hitze des Sommers nicht durch grössere Kälte des Winters ausgeglichen wird, und umgekehrt. Man findet daher die mittlere Temperatur eines gegebenen Ortes am genauesten, aus je mehreren Jahren man die mittleren addirt, und durch die Zahl der Jahre dividirt. Um aber die hierbei zu Grunde liegenden täglichen mitteren Temperaturen zu erhalten, ist man zwar jetzt so weit gekommen, dass ein Beobachter nur zu einer und derselben Stunde täglich seine Thermometerbeobachtungen aufschreiben muss, aus denen dann die mittleren Temperaturen durch gehörige Reduction gefunden werden können; besser aber ist es, an zwei gleichnamigen Stunden Morgens und Nachmittags aufzuzeichnen, beide zu addiren und durch 2 zu theilen, wodurch man sehr annähernd das gesuchte Mittel erhält. Inzwischen gehen aus dreijährigen, zu München angestellten, stündlichen Beobachtungen sehr genau diejenigen Grössen hervor, durch welche man die für einzelne Stunden gefundenen Werthe verbessern muss, um die mittlere jährliche Temperatur zu erhalten, und die um so mehr hier mit-

getheilt zu werden verdienen, als sie auch sicher für die Umgegend und überhaupt das mittlere Deutschland passen, und demnach jeder Beobachter leicht die bei seinen übrigen Geschäften passendsten Stunden wählen, die erhaltenen Resultate aber darnach berichtigen kann.

Std.	Verb.	Std.	Verb.	Std.	Verb.	Std.	Verb.
7.	— 1°,362	1.	2°,660	7.	0°,284	1.	— 1°,910
8.	— 0,473	2.	2,650	8.	— 0,286	2.	— 1,991
9.	0,412	3.	2,580	9.	— 0,718	3.	— 2,245
10.	1,246	4.	2,236	10.	— 1,142	4.	— 2,406
11.	1,853	5.	1,730	11.	— 1,418	5.	— 2,245
12.	2,250	6.	0,995	12.	— 1,745	6.	— 1,996

Der Gebrauch dieser Tabelle ist leicht begreiflich zu machen. Die ersten Columnen enthalten die Stunden mit 7 Uhr Morgens anfangend, die daneben stehenden die erforderlichen Verbesserungen, die abzuziehen sind, wenn sie kein Minuszeichen (—) haben, im letzteren Falle aber hinzuaddirt werden müssen, weil sie die Abweichungen von der gesuchten Grösse enthalten. Hätte z. B. jemand um 9 Uhr Morgens ein ganzes Jahr hindurch die von ihm am Thermometer beobachtete Temperatur aufgeschrieben, die erhaltenen Zahlen jedes Monates addirt und durch die Zahl der Monatstage dividirt, dann die so erhaltenen Mittelzahlen der einzelnen Monate abermals addirt und durch 12 dividirt, und hierdurch die Zahl der Grade . . . . . = 7,220

erhalten, so wäre: 7,220

abgezogen: 0,412

. . = 6°,808

die richtige ganz jährliche mittlere Temperatur. Hätte er dagegen Abends 6 Uhr beobachtet, und durch die angegebene Operation 5°,873 erhalten,

so wäre: . . . . . 5°,873

addirt: . . . . . 1°,996

. . . = 7°,869

die richtige Temperatur des ganzen Jahres.

28) Beiläufig möge hier noch ein oft empfohlenes Mittel erwähnt werden, um die mittlere Temperatur eines Ortes schnell und mit geringer Mühe kennen zu lernen, nämlich die Wasserquellen. Das Wasser der perennirenden, auch im trockensten Sommer nicht ausbleibenden, Quellen entsteht aus dem in den Sand und lockeres Gestein eindringenden Regen-, Schnee-, Thau- und Nebelwasser, namentlich wenn dieses aus bewaldeten Anhöhen nicht sofort abläuft oder durch Verdunstung weggenommen wird. Das Regenwasser dringt sofort, aber langsam, durch die feinen Spalten der oberen, namentlich Sandstein- oder auch Kalkstein-Felslager, das Schneewasser aber erst während des Frühjahrs bis in den Anfang des Sommers, sowie das Schmelzen allmälig erfolgt. Das Eindringen durch die feinen Spalten geschieht langsam, so dass das wärmere Sommerwasser noch nicht abgeflossen ist, wenn schon das kältere des ersten Schnees dazu kommt, das letzte des Winterschnees wird aber noch von dem der ersten Sommerregen erreicht; beide vermengen sich, sammeln sich in zahllosen kleinen Behältern, dringen von diesen aus dann oft auf nicht eben kleinen Strecken durch feine Spalten, und kommen an einem gemeinschaftlichen Vereinigungspuncte als Quellen zu Tage. Hieraus wird leicht erklärlich, warum manche Quellen, die das Winterwasser erst im Sommer, das Sommerwasser aber im Winter abgeben, gerade die den Jahreszeiten entgegengesetzte Temperatur zeigen; doch kann dieses leicht täuschen, indem uns im Winter leicht das warm zu sein scheint, was wir im Sommer kalt finden, und man darf daher nicht nach dem Gefühl, sondern man muss nach Messungen mit dem Thermometer entscheiden. Auf allen Fall dringt das Wasser, welches die perennirenden, an Reichthum stets fast gleichen, Quellen liefern, beträchtlich tief ein, sammelt sich von nicht geringen Strecken, weswegen oft mehrere Hügel ihr Wasser insgesammt zu einer einzigen, dann beträchtlichen Quelle vereinigen, das Hindurchdringen durch die feinen Spalten dauert lange, und es verweilt daher geraume Zeit unter der Erde. Wir haben aber oben (§. 22.) gesehen, dass die äussere Wärme und Kälte nicht tiefer

als etwa 30 Fuss in die Erde eindringt, und in dieser Tiefe also eine unveränderliche Temperatur herrscht, die der mittleren des Ortes fast genau gleicht. Indem daher das Wasser lange hier verweilt, wobei zugleich das wärmere sich mit dem kälteren vermischt, so muss es diese Temperatur annehmen, und man darf daher nur die Wärme einer Quelle, da wo sie aus einem Felsen hervordringt, oder in einem tiefen, stets bedeckten, Brunnen messen, um sofort die mittlere des Ortes zu erhalten. Inzwischen ist dieses Mittel trüglich, und darf nur dann angewandt werden, wenn man aus sonstigen Gründen zur Ueberzeugung gelangt, dass eine gegebene Quelle auf die beschriebene Weise erzeugt wird, denn zuweilen dringt das Wasser durch die Klüftungen der Felsen sehr tief ein, nimmt die daselbst vorhandene Temperatur an, und kommt beträchtlich warm wieder zum Vorschein (§. 22.); in andern Fällen aber sinkt das auf hohen Berggipfeln aus dem schmelzenden Schnee gebildete Wasser in die Tiefe herab, und kommt daselbst noch sehr kalt zu Tage. Uebrigens ist die stets gleiche Temperatur der meisten Quellen sehr allgemein bekannt. Man kennt die Kälte des Wassers tiefer Brunnen im Sommer und weiss, dass sie im Winter nicht gefrieren, Quellen in Kellern werden unter Umständen gern gesehen, weil man weiss, dass dann die Temperatur daselbst eine stets gleichbleibende ist, und wenn Flüsse oder Teiche an manchen Stellen selbst bei stärkster Kälte nicht zufrieren, so sagt man, dieses komme von unterirdischen Quellen.

29) Da wir dasjenige kennen gelernt haben, was man die mittlere Temperatur eines Ortes nennt, so ist es gewiss nicht ohne Interesse, die mittleren Temperaturen an den verschiedenen Orten unserer Erde, und zugleich auch die beobachteten höchsten Hitze- und Kälte-Grade kennen zu lernen, um diese mit den uns bekannten zu vergleichen. In den Gegenden des mittleren Teutschlands, etwa unter dem 47 bis 50^0 nördlicher Breite (da München unter 48^0 8′ 20″ liegt), dürfen wir in runder Zahl etwa 8^0 als mittlere Temperatur bei geringer Höhe über dem Meeresspiegel, und 30^0 über 0^0 als selten erreichte höchste, 20^0 unter 0^0 aber als

kurzdauernde ungewöhnliche Kälte annehmen, gegen welche die unglaubliche Hitze mancher tropischen Gegenden und die eben so furchtbare Kälte nördlicher Orte in einem grellen Lichte erscheint. Inzwischen ist die Summe der hierüber gesammelten Thatsachen sehr gross, und wir müssen uns daher hier auf einige der auffallendsten Beispiele beschränken. Im Allgemeinen findet rücksichtlich der höheren Wärme der äquatorischen Zone mehr Regelmässigkeit statt, und die Temperaturen der verschiedenen Orte sind hauptsächlich nur dadurch ungleich, dass sie viel oder wenig über dem Meeresspiegel erhaben liegen; ganz anders verhält es sich aber mit der Kälte der nördlichen Gegenden, wenn wir die südliche Halbkugel als minder bewohnt und daher weniger interessant einstweilen unberücksichtigt lassen. Keineswegs herrscht, wie man erwarten sollte, unter dem Nordpole selbst die grösste Kälte, sondern sie ist daselbst um mehrere Grade geringer, als an zwei andern Puncten, die man daher Kältepole genannt hat, und deren einer über Nordamerica, ungefähr unter 75^0 N. B. und 105^0 W. L. von Greenwich, der andere aber in Sibirien unter etwa 70^0 N. B. und 100^0 östl. L. liegt. Von beiden Puncten aus wird die Kälte nach allen Seiten hin geringer, und als Gegenden der mildesten Temperatur sind daher das westliche Europa, Grossbritannien, Island und die Küsten Norwegens bekannt, während die von hier aus östlich liegenden Länder grössere Kälte haben. Unter andern hat zwar Ungarn sehr heisse Sommer, die seinen feurigen Wein zur Reife bringen, im Winter aber müssen die Reben durch Niederlegen in die Erde und Bedecken gegen das Erfrieren geschützt werden. Hieraus und aus dem, was über die Ursachen der ungleichen Klimate (§. 22—24.) gesagt worden ist, lassen sich die nachfolgenden Angaben erklären.

30) Der wärmste Ort der Erde ist Maracaibo in Venezuela unter $10^1/_2{}^0$ N. B., dessen Lage am Meere die sich vereinigenden sonstigen Bedingungen nicht überwinden kann, weswegen die nur geringen Wechseln ausgesetzte mittlere Temperatur 23^0 beträgt, während keine der Inseln und Küsten der heissen Zone über 22^0 hinausgeht, und über dem Meere selbst etwa 20^0 bis

21° anzunehmen ist. Uebrigens ist die Hitze in America theils wegen des nahen Meeres, theils wegen seiner hohen Berge nicht so gross, als im alten Continente, obgleich der Sand in den Ebenen von Venezuela bis 48° erhitzt wird, und die Luft über ihm im Schatten in mässiger Höhe eine Wärme von 28° bis 29° annimmt. In Aegypten ist die Hitze stark, geht selbst auf dem rothen Meere zuweilen des Nachts nicht unter 29° herab, beträgt im Schatten leicht 36°, erreicht zu Cairo über 34° und im ganzjährigen Mittel in dieser Stadt 18°. Geringer ist dieselbe an der Nordküste Africas, wo die Kälte zugleich jährlich unter den Nullpunct herabgeht. Zu Algier unter andern beträgt die jährliche mittlere Temperatur nur 14°, und zu Marocco die höchste 36°, die geringste — 7° und die mittlere 15°, 6. Im südlichen Teutschland erreicht die Hitze zuweilen ausnahmsweise eine bedeutende Höhe, doch können wir etwa 30° als äusserste, nur selten und auf kurze Zeit beobachtete Grenze betrachten, wenn der Sirocco bis in diese Gegenden gelangt; als äusserste, selten vorkommende Grenze der Kälte möchte ich aber 20° unter dem Gefrierpuncte annehmen. Im nördlichen Teutschland ist wegen der geringeren Erhebung über die Meeresfläche, der etwas längeren Dauer der Sommertage und der ausgedehnten Ebenen die grösste Sommerhitze nur wenig, höchstens 2° geringer, die stärkste Kälte dagegen wohl 4°—6° grösser, weil die aus Nordost, man könnte sagen vom Kältepole, herbeifliessenden Luftströme durch keine hohe Berge abgehalten werden. Betrachten wir diese Angaben näher, so muss uns die wunderbare Folgerung auffallen, dass der Mensch in diesen, um volle 50 Grade verschiedenen Temperaturen zu leben und gesund zu bleiben vermag, noch auffallender aber geht dieses aus der Betrachtung der äussersten Wärme- und Kälte-Grade hoch nördlicher Gegenden hervor; denn indem die mittleren Temperaturen vom Aequator bis zum Pole oder auch zu den Kältepolen ziemlich regelmässig abnehmen, so wachsen dagegen die Extreme in einem ungleich grösseren Maasse, wie man schon aus einer Vergleichung des südlichen mit dem nördlichen Teutschlande sieht, indem nach obigen Angaben die mittleren Temperaturen daselbst

8^0 und 7^0 betragen, also mit einem Unterschiede von 1 Grade, die Extreme dagegen 50^0 und 54^0, mit einem Unterschiede von 4 Graden. Dieses nimmt zu mit grösserer Annäherung an die Pole, woselbst wegen grösserer Tageslänge und anhaltend klaren Himmels die Hitze bis in's Unglaubliche steigt, die Winterkälte dagegen das Quecksilber wochenlang gefroren erhält. Die nachfolgende Tabelle enthält aus vielen einige der auffallendsten Beispiele.

Orte.	Polhöhe.	Temperatur		
		grösste.	kleinste.	mittlere.
Albany in Nordamerica	$42^0,40$	$28^0,5$	-28^0	$8^0,5$
Port Bowen . . .	73,15	1,0	— 42	—12,0
Cumberland-House .	54,0	24,5	— 34	0,0
Enterprise-Fort . .	64,30	20,5	— 39	— 8,0
Fort Franklin . . .	65,12	19,0	— 40	— 7,2
Felix-Hafen . . .	70,0	17,0	— 55	—12,5
Moskau	55,45	24,0	— 31	3,4
Petersburg	59,56	27,0	— 40	2,2
Torneä (Lappland) .	66,30	20,0	— 47	— 0,4
Jakutsk (Sibirien) .	62,2	24,0	— 48	— 5,8
Irkutzk	52,3	31,6	— 36	0,0
Nowa-Zembla . .	70,37	8,5	— 32	— 7,5
Washington . . .	38,52	28,4	— 21	11,0
Philadelphia . . .	39,57	29,6	— 16	10,0
Newyork	40,42	28,0	— 17	9,7
Boston	42,21	31,0	— 21	7,8

Die letzten vier Beispiele zeigen, dass es in America unter geringeren Polhöhen kälter ist, als in unseren Gegenden, und dass daselbst weit grössere Unterschiede der höchsten und tiefsten Temperaturen stattfinden.

31) Es ist oben (§. 23) erwähnt, dass die Wärme mit der Höhe abnimmt, und zwar kann man annähernd 700 pariser Fuss

für 1° Temperaturabnahme rechnen. Auf sehr hohen Bergen herrscht also die nämliche Kälte, als in sehr nördlichen Gegenden, aber mit dem bedeutenden Unterschiede, dass die Extreme um so viel mehr abnehmen, je grösser die Höhe ist, woraus einige gefolgert haben, es gebe eine Grenze, wo stets die nämliche Temperatur herrsche. Als Beispiel möge das Hospitium auf dem St. Bernhard dienen, wo bei einer Höhe von 7668 Fuss die mittlere Temperatur — 1°, und die Extreme 14°,4 und — 19°,1 betragen, statt dass diese letzteren zu Nischnei-Taguilsk in Sibirien unter 58° N. B. bei einer jener sehr nahe kommenden mittleren Temperatur von — 0°,7 nicht weniger als 30°,5 und — 29° erreichen. Beide Ursachen, die Polhöhe und die Erhebung über den Meeresspiegel, erzeugen dann vereint die sogenannte Schneegrenze, oder eine Linie, wo der Schnee des Winters durch die Hitze des Sommers nicht schmilzt, sondern beständig liegen bleibt. Man unterscheidet hierbei die obere, wo sich der Schnee fortwährend erhält, und die untere, wo er in minder heissen Sommern nicht weggeschmolzen wird. Die angegebenen Ursachen, welche die Temperatur überhaupt bedingen, äussern ihren Einfluss auch auf die Schneegrenze, weswegen es keine sichere Bestimmung der Höhen giebt, wo sie unter den verschiedenen Breitengraden gefunden wird. Ohne hier in das Einzelne dieser weitläuftigen Untersuchung einzugehen, mögen folgende wenige Bestimmungen genügen. Am höchsten geht die Schneegrenze hinauf am Himalaya-Gebirge in Centralasien unter 31° N. B., wo sie 15606 Fuss erreicht, doch soll sie nach anderen Angaben in Oberperu sich in 16008 Fuss befinden; auf dem Chimboraço und den americanischen Bergen unter dem Aequator liegt sie in etwa 15000 Fuss, am Atlas unter 31° N. B. in 11550, am Aetna unter 37° N. B. in 9900 Fuss, im Caucasus unter 43° N. B. bei 9982 Fuss, in den Alpen unter 45° bis 46° N. B. zwischen 8520 und 8200 Fuss, in den Carpathen unter 49° bei 7980, in Norwegen unter 60° N. B. bei 4800 Fuss, in Schweden unter 66° N. B. bei 4014 Fuss und auf dem Nordcap unter 71° N. B. bei 2202 Fuss. An letzterem Orte ist die Temperatur verhältnissmässig sehr mild, da die

mittlere jährliche nur 0^0 betragen soll, und daher liegt die Schneegrenze in verhältnissmässig so bedeutender Höhe; aber es giebt weit südlicher gelegene Orte, namentlich unterhalb der Kältepole, wo sie in die Erde einschneidet, sofern der Boden, namentlich aber das Meer, überall nicht aufthauet.

32) Die oben (§. 30) gegebene Uebersicht der unglaublichen Kältegrade mancher hochnördlichen Gegenden muss die bereits gemachte Bemerkung als noch auffallender darstellen, nämlich dass der Mensch in so ausnehmend ungleichen Temperaturen zu leben vermag, wobei er sich gegen die Hitze durch leichte Kleidung, Schatten und die in Folge der Verdampfung seines Schweisses entstehende Abkühlung (§. 129), gegen die Kälte aber durch solche Bedeckungen schützt, welche seine eigene Wärme wenig durchlassen. (§. 113.) Von den übrigen Thierarten können einige nur in heissen, andere in kalten Gegenden ausdauern, wobei im Allgemeinen die ersteren sich durch bunte Farben, die letzteren durch einfache, namentlich weisse, Farben auszeichnen. Noch schärfer sind die klimatischen Abgrenzungen der Pflanzen, wobei gleichfalls als Regel gilt, dass die Menge der verschiedenen Arten mit der Annäherung zum Aequator ausnehmend wächst, und auf gleiche Weise die Mannigfaltigkeit und Pracht ihrer Farben zunimmt. Die vollständige Untersuchung dieses Gegenstandes bildet einen eigenthümlichen Zweig der Wissenschaft, den man Pflanzengeographie nennt, woraus wir aber hier nur einige wenige Bemerkungen entnehmen können. Der tropischen Zone angehörig sind Palmen, Cactus, Brodbaum, Pisang, Zimmtbaum und andere. Die datteln-tragenden Palmen sind hauptsächlich in Biledulgerid, dem Dattellande, einheimisch, und ihre Grenze erstreckt sich nicht weiter als bis Sicilien, wo ihre Früchte nicht mehr reifen. An diese schliesst sich der Nussbaum und Weinstock, welche sich in Europa bis etwa zum 50. Breitengrade, also bis Frankfurt, erstrecken, denn weiter nördlich ist nicht mit Sicherheit auf Erg zu rechnen. Laub- und Nadelhölzer gehen bis zum hohen rden hinauf, namentlich verkrüppelte Fichten und Birken; von sser Wichtigkeit ist aber der Umstand, dass die Cerealien in

sehr weiter Ausdehnung gedeihen, denn in den milderen Gegenden Norwegens reichen sie mit allerdings dürftiger Vegetation bis über den 70. Breitengrad hinaus. An der äussersten Grenze, auf Island, Spitzbergen u. s. w., gedeihen nur einige Moose, zu deren Erzeugung die Natur ihre schwachen Kräfte verwendet.

33) Den nämlichen Einfluss, als die Annäherung zu den Polen hat auch die grössere Erhebung über die Meeresfläche auf die Thier- und Pflanzenwelt. Auf der Grenze der bewohnbaren Erde im höchsten Norden (denn die südliche Halbkugel ist uns in dieser Beziehung wenig bekannt) können bloss noch Esquimo's und arktische Hochländer, eine nur etwa $4^1/_2$ Fuss Höhe erreichende Menschenart, ausdauern, die sich meistens von Wallfisch- und Seehunds-Thran nähren; auf die Berghöhen ziehen sich indess die Anwohner nur so hoch hinauf, als dort noch wachsende Früchte ihnen Nahrung geben; sie bleiben daher stets etliche hundert Fuss unter der Schneegrenze, und dürfte demnach die Maierei von Antisana in Quito von 12623 Fuss der höchste stets bewohnte Punct der Erde seyn, wenn es nicht etwa in Oberperu noch höhere giebt, und die Bergwerksstationen nicht mitgezählt werden. In Beziehung auf die Vegetation geben hohe Berge unter der Linie das interessante Schauspiel, dass man am Fusse derselben tropische Gewächse findet, mit zunehmender Höhe aber die den kälteren Regionen zugehörigen, bis zu denen, die nur im höchsten Norden gedeihen. So fand v. *Humboldt* am Chimboraço die Palmen und Pisangs bis 2700 Fuss Höhe, kurze Gräser und kryptogamische Gewächse aber in 14600 Fuss. In den Alpen, namentlich am Monte Rosa, findet man Wein an der Südseite noch in 3093, an der Nordseite in 2200 Fuss; Getreide wächst daselbst an der Südseite in 5880, an der Nordseite in 4000 Fuss; die Grenze des Hochwaldes liegt daselbst in 7000, in Salzburg in 5000, in Splügen in 4400 Fuss. Nach der Angabe L. von *Buch's* sind folgende mittlere Vegetationsgrenzen anzunehmen:

in den Alpen von 45° bis 46°,5 N. B.		in Norwegen unter 70° N. B.	
Weinbau	2432 F.	Fichte	730 F.
Nussbaum	3564 „	Birke	1483 „
Kirschbaum . . .	4164 „	Heidelbeeren . . .	1980 „
Buche	4815 „	Weide	2019 „
Tanne	6420 „	Zwergbirke . . .	2576 „
Rhododendron . . .	6840 „	untere Schneegrenze	3300 „
untere Schneegrenze .	8540 „		

Es lässt sich endlich hier noch hinzusetzen, dass bei gleichen mittleren Temperaturen die Vegetation in nördlichen Gegenden leichter gedeihet, als auf grossen Höhen, weil die Luft auf letzteren dünner ist, eine stärkere Verdunstung stattfindet, der Unterschied der durch die Sonnenstrahlen erregten Wärme und der nächtlichen Kälte grösser ist und die Winde nachtheiliger einwirken; wie denn überhaupt der Schutz gegen die letzteren die Vegetation ausnehmend fördert.

Den Schluss der Untersuchungen über die Wärmeerzeugung durch die Sonnenstrahlen möge die Bemerkung machen, dass nach den neuesten genauesten Untersuchungen die Mondstrahlen gar keine messbare Wärme erzeugen. Allerdings ist das Licht des Vollmonds 300000 mal schwächer, als das der Mittagssonne im Sommer, allein der Berechnung nach müssten die Vollmondstrahlen bei heiterem Himmel dennoch im Zustande grösster Concentrirung unsere feinsten Wärmemesswerkzeuge etwas afficiren, wogegen aber die Erfahrung entscheidet.

34) Ungleich schwieriger ist die Beantwortung der Frage, worin die Erzeugung der Wärme durch die Lichtstrahlen dem Wesen nach besteht. Da diese Aufgabe durch die Gelehrten noch keineswegs genügend gelöset ist, so wollen wir uns auf folgende kurze Andeutungen beschränken. Einige haben angenommen, das Licht sey an sich Wärme, oder werde vielmehr, wenn die Körper

es aufnehmen, in Wärme verwandelt, und ströme also am Tag von der Sonne auf unsere Erde, kehre aber bei Nacht zum Himmelsraume wieder zurück, welchen letzteren Process man Strahlung zu nennen pflegt. Die Existenz dieser Art von Wärmestrahlung wird zwar sehr allgemein angenommen, allein noch niemand hat genügend nachgewiesen, ob die Ursache derselben in einer Zurückstossung durch die Erde, in einer nothwendigen Eigenschaft der Wärme selbst, oder in einer Anziehungskraft des Himmelsraumes, oder endlich in diesen vereint gegründet sey, und sie ist daher noch nicht allen Zweifeln enthoben. Die Identität der Wärmestrahlen und der Lichtstrahlen ist neuerdings wohl genügend widerlegt, denn beide existiren neben einander, unterscheiden sich aber wesentlich dadurch, dass manche Körper beide Arten sehr ungleich durchlassen, auch die einen ganz oder fast gänzlich zurückhalten, wenn sie den andern sehr freien Durchgang gestatten. (§. 116.) Hiermit ist denn auch die Verwandlung der Lichtstrahlen in Wärmestrahlen genügend widerlegt. Da die Lichtstrahlen von der Sonne kommen, und allezeit vereint mit Wärmestrahlen zu unserer Erde gelangen, so scheint fast nothwendig, und wird auch der gemeinen Ansicht nach angenommen, dass die Wärmestrahlen gleichfalls von dieser Quelle ausfliessen; allein die Lichterscheinungen rühren von Schwingungen, von Wellen eines Aethers her, welcher durch den Himmelsraum verbreitet, nicht in einem Strome von der Sonne aus sich zur Erde bewegt, sondern selbst ruhend, wie die Luft bei der Fortpflanzung des Schalles durch seine Wellenbewegung die Erscheinungen des Erleuchtens bewirkt. Um diese Vorstellung anschaulich zu machen, darf man nur an die Wasserwellen denken, deren Erhabenheiten auf der Oberfläche des Wassers fortschreiten, ohne jedoch die auf ihnen liegenden Gegenstände mit fortzuführen, unter denen sie vielmehr hingleiten, und eben so zeigt die Erfahrung, wie ein heftiger Fenster und Mauern zum Erzittern bringender Schall durch die Luft geleitet wird, ohne die leichteste Flaumfeder in Bewegung zu setzen, weil die Schallwellen nur in unmessbar kleinen, augenblicklich wieder zurückgehenden, Zusammendrückungen der Luft

theilchen bestehen, die dabei ihren Ort nicht wahrnehmbar verändern. Wenn nun in der Einleitung gesagt ist, dass zur Erklärung der Wärmephänomene ein feiner Aether anzunehmen sey, so könnte man sich allerdings vorstellen, dass dessen Wellen gleichzeitig mit denen des Lichts von der Sonne ausgehend zur Erde gelangten; allein das Phänomen des Brennens im Focus des Spiegels oder der Linse zeigt einen wesentlichen Unterschied beider vereinter Wellen, der des Lichts und der der Wärme, sofern die ersteren sofort spurlos verschwinden, wie die Schallwellen, die letzteren aber eine gewisse Quantität Wärme in dem getroffenen Körper zurücklassen, die erst allmälig an die Umgebungen übergeht. Ausserdem werden wir im Verfolge der Untersuchungen sehen, dass die Wärme sich allezeit in quantitativen Verhältnissen, d. h. nach einem Mehr oder Weniger ihrer Menge, zeigt, und wenn also die Sonne wirklich diejenige Wärme hergäbe, die im Brennpuncte vereint in dem getroffenen Körper die vorhandene Hitze giebt, so müsste sie den zwischenliegenden Raum mit gleicher Geschwindigkeit, als das Licht, d. h. 41000 Meilen in 1 Secunde, zurücklegen. Eine solche Geschwindigkeit der Wellenbewegung wird allerdings vorstellbar, wenn wir die Schallgeschwindigkeit von etwa 1050 Fuss in einer Secunde und die unberechenbar grössere Elasticität und Feinheit des Lichtäthers gegen die der Luft erwägen; allein die gleich schnelle Bewegung eines materiellen Stoffes, welcher, wenn auch noch so fein, dennoch einen dem Quadrate seiner Geschwindigkeit und seiner Masse proportionalen Stoss ausüben müsste, ist schwer, oder überhaupt nicht denkbar; nicht zu gedenken, dass eine solche völlig gleichzeitige Bewegung, gleichsam ein Schwimmen der Wärmematerie in und auf den Wellen des Lichtäthers, fast als völlig unvorstellbar erscheint. Suchen wir aber eine andere passendere Hypothese, so bietet sich durchaus keine dar, und die Aufgabe bleibt daher vor der Hand eine nicht gelösete, es sey denn, dass wir annehmen wollten, die an unsere Erde gebundene, im Innern dichteste, mit der Erhebung über die Oberfläche an Dichtigkeit abnehmende Wärmematerie werde durch den Stoss der Lichtwellen verdichtet,

erregt und in Schwingungen versetzt, eine Ansicht, die auf allen Fall des Beweises, ja sogar erst einer näheren Prüfung bedarf.

35) Verfolgen wir diese Betrachtungen weiter, so stossen wir auf noch ungleich grössere Schwierigkeiten. Strömte die Wärme wirklich von der Sonne auf unsere Erde, so müsste, nach der Temperaturerhöhung zu schliessen, welche die von den Sonnenstrahlen getroffenen Körper erhalten, die Menge der Wärme auf unserer Erde, wo nicht in wenigen Jahren, doch nach Jahrtausenden merklich zunehmen; allein hiergegen streitet die Erfahrung, soweit die Geschichte uns Auskunft giebt. Eigentliche Thermometerbeobachtungen gehen zwar nicht weiter als bis etwa 150 Jahre zurück, und während dieses Zeitraumes hat sich die mittlere Temperatur der Orte, wo beobachtet wurde, nicht merklich geändert, allein auch die Angaben über die Zeiten der Aussaat und Ernte, die wir im Virgil und in den sonstigen landwirthschaftlichen Schriftstellern Italiens finden, stimmen so genau mit dem überein, was noch jetzt in Italien als Regel gilt, dass unmöglich eine Veränderung der Temperatur daselbst stattgefunden haben kann. Den auffallendsten Beweis liefert aber das, was wir aus den mosaischen Schriften lernen. Palme und Weinstock grenzen an einander, und sind den klimatischen Einflüssen so sehr unterworfen, dass erstere nicht nördlicher, letztere nicht südlicher über ihre Grenzen hinausgehen; beide fanden sich schon zu Moses Zeiten in Palästina, und sind noch jetzt dort, zum sicheren Beweise, dass sich die mittlere Temperatur daselbst während mehr als 3000 Jahren nicht merklich geändert hat. Wenn nun die Astronomen darthun, dass die sich während der historischen Zeit stets gleich gebliebene tägliche Umdrehung unserer Erde um ihre Axe mit einer Veränderung ihrer Wärme unverträglich sey, so folgt aus diesem allem unabweislich die Unveränderlichkeit der mittleren Temperatur während dieses langen Zeitraumes. Eine allgemeine bleibende Vermehrung der Wärme auf unserer Erde ist hiernach also ganz unzulässig, und wir können daher auch nicht annehmen, dass dieselbe der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt werde, da wir nicht einzusehen vermögen, wie sie zu ihrer Quelle wie-

der zurückkehren könnte. Allerdings entweicht die Wärme des Sommers allmälig im Herbst und Winter in Folge der aufhörenden stärkeren Einwirkung der Sonne und der von Norden herbeifliessenden Luftströme; allein dieses beruhet nur auf einem theilweisen Wechsel in den verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche. Sind schon diese Räthsel dem menschlichen Verstande unlösbar, so wachsen die Schwierigkeiten noch mehr, wenn wir erfahren, dass sich im höchsten Norden Ueberreste von Thieren finden, die in jenen Klimaten, wie sie jetzt sind, nicht leben konnten, ja selbst in unseren Gegenden finden sich Versteinerungen von Thieren, welche der heissen Zone angehören.

B. Reibung und Zusammendrückung.

36) Wir haben die Hypothese aufgestellt, die Erscheinungen der Wärme rührten her von einem feinen ätherischen Fluidum. Diese Vorstellungsart findet eine auffallende Rechtfertigung in der Wärmeerzeugung durch Zusammendrückung der Körper, und hängt genau zusammen mit der Erfahrung, dass alle Körper durch Vermehrung der Wärme ausgedehnt werden. (§. 1. und 134.) Man ist in Folge der genauen Uebereinstimmung aller hierher gehörigen Phänomene so weit gegangen anzunehmen, dass alle Körper aus kleinen, durch 2000 mal den Durchmesser vergrössernde Mikroskope ihrer Feinheit wegen nicht sichtbaren Theilchen bestehen, die dann von einer gleichfalls von uns nicht messbaren Hülle des angenommenen Wärmeäthers umgeben sind. Wenn selbst die scharfsinnigsten Denker dieses genau zu begreifen nicht vermögen, so liegt darin kein Grund, die ganze Ansicht zu verwerfen, vielmehr müssen wir überlegen, dass die Welt durch einen über unsere Vorstellung weit erhabenen Schöpfer geschaffen ist, und wir von diesem grossen Ganzen weder die entferntesten Sonnen, noch die kleinsten Theilchen der uns umgebenden Körper kennen, was uns dann vor allen Dingen bescheiden in unsern Urtheilen machen und mit Ehrfurcht gegen Gott erfüllen muss. Suchen wir uns aber, so weit es uns möglich ist, solche kleine Körpertheilchen mit den sie umgebenden Wärmehüllen vorzu-

stellen, so wird es leichter begreiflich, wie diese Elemente, wenn sie bei dünneren Wärmehüllen einander näher sind, durch stärkere Anziehung unverrückbar starre Körper bilden, bei dickeren dagegen leicht verschiebbar zum Flüssigkeitszustande übergehen, zuletzt aber von einander abgestossen sich luft- und dampfförmig zeigen, in diesen verschiedenen Zustand aber durch Vermehrung der Wärme versetzt werden. Bringt eine äussere Gewalt die Theilchen einander näher, so muss die Wärme aus ihnen, wie das Wasser aus einem zusammengepressten Schwamme, entweichen, und die Wärmeerzeugung durch Zusammendrückung erscheint nicht mehr räthselhaft.

37) Am leichtesten und schnellsten wird Wärme durch Zusammendrückung der Luft ausgeschieden, und einiges Nachdenken führt auch dahin, dass dieses nach dem Gesagten so seyn müsse. Die zusammenzudrückende Luft muss aber eingeschlossen seyn, und dann nehmen unvermeidlich die einschliessenden Wandungen die erzeugte Wärme sofort auf, so dass sie nur bei schneller Compression und durch geeignete Mittel aufgefangen in auffallender Menge zum Vorschein kommen kann, da ohnehin die dünne Luft keine grosse Quantität derselben enthält. Anfangs beobachtete man bloss, dass ein feines Thermometer von *Breguet* (§. 10.) unter einer Glasglocke durch Verdichtung der Luft Wärmezunahme, durch Verdünnung derselben Wärmeabnahme zeigte; zufällig wurde aber entdeckt, dass die Luft in der Compressionspumpe einer Windbüchse schnell und stark comprimirt ein Stückchen Feuerschwamm zu entzünden und leichtflüssiges Metall zu schmelzen vermag. Ueberrascht durch die Neuheit der Sache verfertigte man zum praktischen Gebrauche die jetzt fast vergessenen Tachopyrien (von tachos schnell, und Pyr Feuer) oder pneumatischen Feuerzeuge (von Pneuma Luft). Sie bestehen aus einer gläsernen oder metallenen Compressionspumpe, einem hohlen, etwa $^1/_3$ Zoll weiten, am einen Ende verschlossenen, Cylinder und einem aus ledernen Scheiben verfertigten, oder mit Leder überzogenen, $^1/_2$ bis $1^1/_2$ Zoll langen, an einer eisernen Stange mit Knopf festsitzenden Kolben, welcher mit etwas Fett oder Oel eingeschmiert die Luft im Cylinder zusammenpresst,

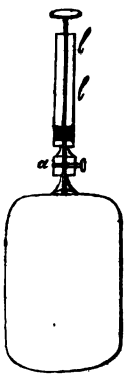
ohne sie neben sich entweichen zu lassen. Oben in dem Kolben wird eine Vertiefung angebracht, oder nur ein kleines Häkchen, um etwas Zündschwamm zu befestigen, und wenn man dann den Kolben schnell in den Cylinder herabstösst und augenblicklich wieder zurückzieht, so findet man den Schwamm brennend. Der Versuch ist interessant, den praktischen Gebrauch hat man aber verlassen, obwohl ein kleiner Apparat von $3^1/_2$ bis 4 Zoll Länge schon genügt und der Erfolg sicher, auch keine Gefahr dabei möglich ist. Doch verdient die Sache Beachtung, denn sie erklärt, warum die zur Aufnahme der verdichteten Luft dienenden Windbüchsen-Kolben oder Kugeln bei schneller und starker Compression so leicht mit schrecklicher Gefahr für den Operirenden zerspringen, weil nämlich das unvermeidlich darin vorhandene Oel sich entzündet und die zum Glühen erhitzte comprimirte Luft die stärksten Behälter zersprengen muss.

38) Das Verhalten des durch *Döbereiner* erfundenen Platinsalmiaks, oder Platinschwammes, überhaupt des locker zusammengefügten, feinen, metallischen Platins, wie man dieses bei den nach jenem Gelehrten benannten Zündlampen und auch anderweitig in Anwendung bringt, gehört nach dem Urtheile der gewiegtesten Gelehrten gleichfalls zu den Erscheinungen des Entzündens durch Gasverdichtung. Die Oberfläche des metallischen Platins hat die Kraft, das Wasserstoffgas auf sich zu verdichten, und wenn daher die Oberfläche durch die Pulverform vergrössert wird, so muss die Verdichtung zunehmen, da noch obendrein das schwammige Gefüge der locker zusammenhängenden Plättchen sie befördert. Durch die Verdichtung wird Wärme frei, und da das Platin nur verhältnissmässig wenig Wärme bedarf, um eine Erhöhung seiner Temperatur zu erhalten (§. 123.), die höhere Temperatur aber die Verdichtung verstärkt, so wächst die Hitze bald in einem solchen Grade, dass das Wasserstoffgas sich mit dem Sauerstoffgas der Luft verbindet, das Platin glühet, und die beiden verbundenen Gase eine Flamme bilden. Soll diese Wirkung erfolgen so muss die Oberfläche des Platins frei von Schmutz seyn, den sie aus der Luft leicht annimmt, welcher aber eben durch das

Glühen zerstört wird. Die Entzündung erfolgt daher um so leichter, je schneller man sie wiederholt, bleibt aber leicht aus, wenn das Feuerzeug einige Zeit, etwa 1 bis 2 Tage, ungebraucht gestanden hat. Um es in diesem Falle wieder herzustellen, darf man nur mittelst eines feinen Rohres (des Löthrohrs) die Flamme einer Weingeistlampe (denn die Flamme eines Kerzenlichtes hat selbst Schmutz) gegen den Schwamm blasen, damit er eine Zeitlang glühet, oder nur das ausströmende Wasserstoffgas vor dem Schwamme von aussen entzünden, und den Schwamm etliche Secunden glühen lassen. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man einen schmalen Streifen sehr dünnen Platinblechs über Schwefeläther oder erwärmten Alkohol hält. Die hiervon aufsteigenden, grösstentheils aus Wasserstoff bestehenden, Dämpfe verdichten sich am Platinblech, und bringen dieses zum Glühen. Der Entdecker dieser Erscheinung, *Davy*, gründete hierauf die Construction seiner aphlogistischen Lampe, oder Lampe ohne Flamme. Füllt man ein kleines Medicinglas mit engem Halse mit Alkohol, lässt man in diesen einen Docht oder etwas locker zusammengeballte Baumwolle so herab, dass das oben abgeschnittene Ende durch den aufsteigenden Alkohol stets nass erhalten wird, setzt man auf die obere Fläche ein etwa $^1/_2$ Zoll langes und gegen 2 Linien dickes schraubenförmig gewundenes Löckchen von sehr feinem Platindraht, entzündet man den Alkohol auf der Oberfläche des Dochtes mit etwas Papier, damit das Löckchen in der entstandenen Flamme zum Glühen kommt, und löscht man demnächst die Flamme durch leises Blasen aus, so bleibt das Löckchen fortwährend glühend. Eine Vorrichtung dieser Art liesse sich als Nachtlicht gebrauchen, da man dabei etwas sehen und ein Stückchen Schwamm am glühenden Draht entzünden kann, um Licht zu machen; allein es bildet sich zugleich eine Säure, die sogenannte Lampensäure, die für das Athmen, zumal bei kranken Personen, unangenehm ist.

39) Wird die Luft ausgedehnt, so müsste eigentlich eine gleich grosse Kälte entstehen, d. h. es müsste eben so viel Wärme verschluckt werden, als durch gleich starke Zusammendrückung frei

wird, allein der angegebene Versuch mit dem Tachopyrion lässt sich nicht umkehren, oder es lässt sich durch schnelles Zurückziehen des Kolbens keine der durch Zusammendrückung der Luft erzeugten Wärme proportionale Kälte hervorbringen, weil die Wärme den umgebenden Wandungen entzogen werden und in den verdünnten Raum eindringen müsste. Dieses wird indess dadurch verhindert, dass die Wärme von den Körpern, an die sie gebunden ist, festgehalten wird. Inzwischen zeigt ein interessanter Versuch, dass die sich schnell ausdehnende Luft eine grosse Menge Wärme verschluckt. Man nehme einen etwa 2 Fuss langen, 8 Zoll



weiten, hohlen Cylinder von starkem Eisenblech mit halbkugelformigen Enden, versehe diesen mit einem Hahnstücke *a*, welches fast eine Linie weit durchbohrt ist, und schraube in dieses die Compressionspumpe *l. l.* Um Gefahr zu vermeiden, muss das Blech nahe 1 Linie dick und hart gelöthet seyn; auch thut man wohl, den Apparat vorher mit gehöriger Vorsicht auf seine Stärke zu probiren, was durch Anfüllen desselben mit Wasser und durch starke Zusammendrückung dieser Flüssigkeit leicht geschehen kann. Beim Versuche pumpe man Luft in denselben, bis zur mindesten vierfachen Verdichtung, schraube dann, wenn auch nicht sofort, die Pumpe ab, bereite sich ein kleines, mit etwas Baumwolle umwickeltes Stäbchen, tränke die Baumwolle mit Wasser, und halte sie in den, nach geöffnetem Hahn entweichenden, Luftstrom, so wird nach wenigen Secunden das Wasser in Eis verwandelt seyn. Im Grossen sieht man dieses bei einer durch *Höll* erbaueten, und daher Höll'sche Maschine genannten Vorrichtung in dem Bergwerke zu Schemnitz in Ungarn. Hier wird das Wasser aus der tiefen Grube durch stark zusammengedrückte Luft in die Höhe gefördert, und wenn es abgeflossen ist, strömt auch die verdichtete Luft aus. Hierbei ist die Erkältung so stark, dass Eisstücken bis zur Grösse einer Haselnuss herausgeschleudert werden, und ein nasses, in den Strom gehaltenes, Tuch starr gefriert. Das Blasen der Luft mittelst eines Blasebalges kann nur dann Kälte erzeugen, wenn Feuchtigkeit ver-

dunstet, übrigens aber wird die Luft gleichzeitig zusammengedrückt und ausgedehnt, und beide entgegengesetzte Wirkungen heben einander auf. Man hat die Hitze der Meteorsteine von der Compression der Luft abgeleitet, allein da die Luft nicht eingeschlossen ist, und sich sofort wieder ausdehnt, so kann hierdurch keine solche Hitze entstehen; auch zeigten mit möglichster Geschwindigkeit in der Luft umgeschwungene Kugeln nicht die mindeste Vermehrung ihrer Wärme.

40) Tropfbare Flüssigkeiten werden durch die grösste Gewalt nur wenig zusammengedrückt, und daher ist die hierbei frei werdende Wärme überall nicht, oder nur durch sehr künstliche Mittel kaum wahrnehmbar. Leichter ist dieses der Fall bei festen Körpern, namentlich wenn sie ein verhältnissmässig lockeres Gefüge haben, und sich daher ihre Bestandtheile einander näher bringen lassen. Inzwischen ist die durch eigentliche und blosse Zusammendrückung frei werdende Wärme nicht leicht wahrnehmbar, und zeigt sich hauptsächlich nur bei dem Münzen des Geldes und der Medaillen, wobei die Zusammendrückung schnell und ausnehmend stark erfolgt; doch ist auch folgender Versuch interessant. Wenn man die Spitze eines eisernen Nagels auf einen Ambos oder eine geeignete Eisenmasse legt, mit einem nicht leichten Hammer heftig schlägt und augenblicklich an einen Schwefelfaden bringt, so entzündet sich der Schwefel. Wird ein Metalldraht schnell zusammengebogen, so erhitzt sich die Biegungsstelle, und wiederholt man bei einem Eisendrahte das Biegen nach entgegengesetzten Seiten rasch, wodurch er dann zerbricht, so findet man die Bruchenden angelaufen. Hierbei findet zwar eine Zusammendrückung der Theile statt, zugleich aber auch ein Reiben derselben an einander, und der Versuch ist daher nicht einfach. Auch beim Erhitzen der Metalle und sonstiger Körper durch starkes Hämmern fehlt die Reibung nicht ganz.

41) Sehr bekannt ist die ausnehmend grosse Hitze, welche durch das Reiben aller starren Körper frei wird, allein es ist den angestrengtesten Bemühungen der Physiker noch nicht gelungen, den eigentlichen Ursprung derselben oder die Quelle, aus

welcher sie hervorgeht, zur allgemeinen Befriedigung nachzuweisen. Am wichtigsten in dieser Beziehung sind die grossartigen Versuche, welche der Graf *Rumford* zu München anstellte, indem er mit stumpfen Kanonenbohrern dicke Stücke Glockenspeise mehr rieb, als bohrte, die dabei entwickelte Wärme im Wasser auffing, und deren eine solche Menge erhielt, dass sich ihre Quelle durchaus nicht nachweisen liess. Er selbst und viele andere wurden dadurch zu der Hypothese geführt, die Wärme sey kein eigenthümliches Wesen, sondern ihre Erscheinungen beruheten auf gewissen Schwingungen (Strahlen) der verschiedenen Körper, und es gebe auf gleiche Weise auch Kältestrahlen. Dass letztere unstatthaft sind, geht aus dem in der Einleitung Gesagten genügend hervor, und die ganze, auf so viele Beweise gegründete, Hypothese von einem Wärmestoffe aufzugeben, dazu zwingen die allerdings noch nicht genügend erklärten Versuche *Rumford's* nicht, weil bei so sehr zusammengesetzten, mit den äusseren Umgebungen vielfach verbundenen, Apparaten mehrfache Wege gegeben sind, auf denen die Wärme zu der geriebenen Stelle gelangen, und daselbst in Thätigkeit gesetzt werden konnte. Wir wollen indess die Lösung dieses schweren Problems der Zukunft anheimstellen, und nur einige der wichtigsten Phänomene betrachten, in denen die Wärme durch Reibung frei wird.

42) Wie allgemein die Sache sey, davon kann man sich überzeugen, wenn man nur mit einem Finger auf einem Tische, einem Streifen Papier oder Leder, über einem Faden oder einem Stocke hinreibt, und ist die Wärme allezeit so viel stärker, je schneller und mit je stärkerem Drucke die Reibung geschieht, weswegen man sich ohne bedenkliche Verletzung der Hände an einem Seile nicht schnell herablassen darf. Wenn ein durch die Harpune getroffener Wallfisch sich mit unbegreiflicher Schnelligkeit in die Tiefe hinabstürzt, und das in vielen Kreisen im Kahn aufgewickelt liegende Seil der Harpune nach sich zieht, so muss die Stelle des Bordes, über welche das Seil hingleitet, stets mit Wasser begossen werden, weil sonst das ganze Boot während weniger Secunden in den durch Verkohlung des Holzes gebildeten Rauch

eingehüllt wird. Hält man an ein mittelst einer Drehbank schnell umlaufendes Stück Holz ein anderes, so wird die berührte Stelle schwarz, und es steigt dicker Rauch davon auf. Dass sich das Holz dann nicht entzündet, folgt nothwendig daraus, weil die verkohlten Theilchen in Pulverform stets abgerieben werden; leichter würde Entzündung erfolgen, wenn man gegen das freie Ende eines in der Drehbankspindel mit dem anderen Ende befestigten Stückes Holz einen starren Körper drückte. Die Araber bedienen sich eines ähnlichen Mittels zum Feueranmachen, und haben hiezu zwei Stücke Holz, March und Aphar, auch beide zusammen Zabdan, die Reiber, genannt, und eben dieses geschieht durch einige wilde Völker in Brasilien, Africa und Neuholland. Die Methode besteht einfach darin, dass in ein Stück weicheres Holz eine Furche gemacht, und ein anderes sehr hartes darin schnell hin und her gerieben wird, oder sie machen in das erstere eine Vertiefung und reiben mit der Spitze des zweiten in dieser, indem sie es, wie einen Quirl, zwischen beiden Händen umdrehen, wobei sie auch wohl gegen das andere Ende mit der Brust drücken. Die abgeriebenen, sich sehr bald verkohlenden Holztheilchen kommen ins Glimmen, und entzünden durch Anblasen etwas über sie gelegtes dürres Gras. Das Entzünden hölzerner Wagenaxen, wenn lange und schnell ohne Schmieren gefahren wird, eben wie das Erhitzen der Maschinentheile durch fortdauernde Reibung derselben an einander, sind allgemein bekannt. Metalle, die sich weniger als Holz abreiben, sind in dieser Beziehung gefährlicher, weil sie die Gebäude in Brand zu stecken vermögen, wenn das Erneuern der Schmiere vernachlässigt wird, doch geben sie dem aufmerksamen Wärter durch ein pfeifendes Getöse zeitig genug ein Zeichen, dass es nöthig sey, zwischen die geriebenen Stellen etwas Fett, welches nicht verdunstet, dessen Theilchen aber als flüssig ohne Reibung über einander hingleiten, zu bringen. Die stärkste durch Reibung erzeugte Hitze giebt das gewöhnliche Feueranschlagen. Wird nämlich Stahl an einem harten Steine, dem Feuersteine, Quarz u. s. w., heftig gerieben, und ist der Stein zugleich so scharf, dass er dünne Blättchen vom Stahle ab-

reisst, so werden diese so heiss, dass sie Sauerstoffgas aus der Luft aufnehmen und dadurch zu kleinen Kügelchen verbrennen.

C. Durch Verbindung ungleichartiger Körper.

43) Verbindet man gleichartige Substanzen mit einander, z. B. Luft mit Luft, Wasser mit Wasser u. s. w., so kann man es so ansehen, als legten sich ihre Theile neben einander, und sie müssen demnach ihre Wärmemengen gegenseitig austauschen, was auch wirklich nach einem Gesetze geschieht, dem man nach seinem Erfinder den Namen des Richmann'schen gegeben hat. Vereinigt man 1 Pfund Wasser von 60^0 mit 1 Pfund von 40^0, so hat das Ganze 50^0, und wenn man 2 Pfund Wasser von 40^0 und 1 Pfund Wasser von 70^0 vereinigt, so hat man im Ganzen 150^0 Wärme, die für jedes Pfund 50^0 als die Wärme des Ganzen geben. Hieraus ersieht man zugleich, wie die Wärme sich quantitativ bestimmen lässt, was unverkennbar auf das Vorhandenseyn eines materiellen messbaren Stoffes deutet. Ganz anders verhält es sich, wenn entweder einfache Körper zu einem neuen eigenthümlichen vereinigt werden, z. B. wenn Sauerstoffgas und Wasserstoffgas in einem Gefässe durch starke Compression, oder mittelst eines durchschlagenden elektrischen Funkens, Wasser bilden, oder wenn zusammengesetzte Körper ihre Bestandtheile gegenseitig zur Erzeugung neuer austauschen, z. B. wenn beim Zusammenkommen von Wasser, Schwefelsäure und Zink oder Eisen das Metall sich mit dem Sauerstoff des Wassers vereinigt, die Säure das so gebildete Oxyd auflöset und der Wasserstoff als Gas entweicht. In allen diesen und zahlreichen ähnlichen Fällen, wenn ein Körper einen andern begierig anzieht und sich innig, man kann sagen chemisch, mit ihm verbindet, entsteht Wärme, in vielen Fällen selbst eine ganz unglaubliche, das stärkste Glühen erzeugende Hitze.

44) Suchen wir die verschiedenen, hierher gehörigen Thatsachen etwas zu ordnen, so gehört dazu die merkwürdige Erscheinung, dass eine mit feinen Theilchen organischer und unorganischer Körper, als Mehl, Baumwolle, Kleien, Asche und sonstigen Pulverarten umgebene Thermometerkugel beim Benetzen mit Wasser

und anderen Flüssigkeiten eine um etliche Grade höhere Temperatur annimmt, als die in den lockeren Körper eindringenden Flüssigkeiten haben. Weit auffallender ist das bekannte Phänomen, dass frisch gebrannter Kalk durch die Aufnahme von wenig Wasser, z. B. wenn man einen sehr feinen Wasserstrahl aus einem engen Glasröhrchen darauf spritzt, eine bis zum Glühen steigende Hitze entwickelt, welche Schiesspulver und andere leicht brennbare Substanzen zu entzünden vermag, weswegen es gefährlich ist, grössere Massen frisch gebrannten Kalkes einem feinen Regen auszusetzen. Nach einer irrigen Ansicht glaubte man, der Kalk nehme durch das Brennen Feuersubstanz auf, und diese entweiche beim Benetzen. Richtig aufgefasst verliert der Kalk durch das Brennen seine Kohlensäure (die auch beim Benetzen desselben mit Scheidewasser oder Schwefelsäure brausend entweicht) und dasjenige Wasser, welches als Krystallisationswasser an ihn gebunden ist; beide betragen etwa $^1/_4$ seines ganzen Gewichts. Hierdurch wird er offenbar locker, zerfällt allmälig durch die aus der Luft in ihn dringende Kohlensäure (ungelöschter Kalk), oder schnell durch das aufgenommene Wasser, und bildet dann in Verbindung mit Kiess nach dem Erhärten eine wenig oder gar nicht im Wasser auflösliche Masse, den sogenannten Mörtel; die Entbindung der Wärme ist aber Folge der innigen Verbindung des Wassers mit dem wasserfreien Kalke, und daher ist sie noch grösser bei der Benetzung mit Schwefel- oder Salpetersäure, weil diese noch fester damit verbunden werden, und daher durch die Hitze des Brennens nicht auf gleiche Weise, als die genannten Bestandtheile, entweichen. Frisch geglühete Talkerde (Magnesia) zeigt ähnliche Erscheinungen, und kommt ins Glühen durch Benetzen mit Schwefelsäure. Der Weingeist nimmt begierig Wasser auf, und wenn man daher ein Stückchen Leinen nass auf die Hand legt, und kölnisches Wasser darauf giesst, so fühlt man eine merkliche Wärme. Schwefelsäure nimmt das Wasser noch begieriger auf, und erhitzt sich damit; man muss daher bei erforderlicher Vermengung stets die Säure allmälig zum Wasser giessen, aber nicht das Wasser in die Säure, weil sonst ersteres durch

den Fall unter die Säure geräth, durch die Hitze in Dampf verwandelt wird, und die Säure aus dem Gefässe schleudert. Eine auffallende Erscheinung zeigt sich, wenn man gleiche Theile concentrirte Schwefelsäure und rauchende Salpetersäure vereinigt, und zu einer gleichen Quantität Terpenthinspiritus schüttet, worauf sofort die Masse in heller Flamme auflodert. Der Versuch ist gefahrlos, jedoch muss man sich gegen das Umherspritzen der Säure sichern, welches eintreten kann, wenn die Entzündung nicht erfolgt.

45) Es darf wohl kaum bemerkt werden, dass hierbei ein eigentliches Verbrennen stattfindet, und weitere Betrachtungen führen dann bald zu dem Resultate, dass alle Verbrennungen, im weitesten Sinne des Wortes, unter diese Classe gehören, denn bei allen werden Materien mit einander innigst vereint, und es wird eben hierdurch Wärme frei, die dann, wenn zu einem höheren Grade gesteigert, mit Glühen und Leuchten verbunden ist. In den meisten Fällen, namentlich beim gewöhnlichen Processe des Verbrennens, dem sogenannten Küchenfeuer, geschieht die Verbindung der Körper nur bei erhöheter Temperatur, doch kann auch durch die allmälig fortschreitende Verbindung die Wärme gesteigert werden, bis sie zum Glühen übergeht, und dann das eigentliche Verbrennen eintritt, wenn in Folge des Glühens ein schwächeres oder stärkeres Leuchten bewirkt wird. Da aber die Natur nirgend eine scharfe Grenze zieht, so reihen sich hieran dem Wesen nach ähnliche Erscheinungen, die wir auch durch den Ausdruck des Verbrennens bezeichnen können, weil durch schnellste und innigste chemische Verbindung neue Producte erzeugt werden, obwohl das Leuchten, was uns dem Sprachgebrauche nach das Wesentlichste zu seyn scheint, dabei nicht stattfindet. Nach diesen vorläufigen Bestimmungen kann es nicht schwer seyn, die vorzüglichsten zu dieser Classe gehörigen Erscheinungen zusammenzustellen.

46) Verschiedene Körper aus allen drei Reichen der Natur erzeugen bei ihrer Verbindung eine solche Wärme, dass sie in ein eigentliches Verbrennen übergehen. Werden gleiche Theile

Eisenfeilspähne und Schwefelblumen in grösseren, mehrere Pfunde betragenden, Quantitäten gemengt und in feuchte Erde eingeschlossen, so gerathen sie in Entzündung. *Lemery* bildete hiernach durch die Erscheinungen der Vulcane nach. Bei der Reduction des Zinnobers (6 Th. Schwefel, 1 Th. Quecksilber), wenn man diesen mit Eisenfeilspähnen erhitzt, um reines Quecksilber zu erhalten, erfolgt beim Uebergange des Schwefels an das Eisen eine Explosion, wie solche auch bei andern raschen Verbindungen nicht selten, und oft mit Gefahr für die Operirenden, zum Vorschein kommen. Eine interessante und gefahrlose Erscheinung dieser Art zeigt sich, wenn man Krystalle von salpetersaurem Kupfer zerkleinert, etwas befeuchtet, schnell in ein Blättchen Stanniol wickelt und etwas drückt, worauf das Stanniol sofort sich entzündet. Kienruss, mit Hanföl gemengt und in Matten gewickelt, entzündete sich im Arsenale auf einer Insel in der Newa und etliche Male auf Schiffen, fest zusammengeballte Packete von Wachstaffent entzünden sich gleichfalls, wie nicht minder gebräuntes Mehl und Kleie, wenn sie feucht werden; weswegen man die Umschläge, die hieraus für kranke Glieder des Viehs gemacht werden, in den Ställen nicht liegen lassen darf. Die Entzündung der gebrannten Cichorien, wenn sie in grossen Massen aufgehäuft sind, des Düngers, des feuchten Strohs und Heues ist allgemein bekannt, und hat darin ihre Ursache, dass der Kohlenstoff dieser Substanzen den Sauerstoff des Wassers begierig aufnimmt, was als eigentliches, nur langsam beginnendes Verbrennen gelten kann, wie wir gleich sehen werden. Die Gefahr wächst, wenn solche viel Kohlenstoff enthaltende Substanzen, ja Kohlenstaub selbst, bei hoher Temperatur und durch den Einfluss der Sonnenstrahlen stark erhitzt sind. So entzündeten sich zu Königsberg etliche Mal das Moos und Stroh, worauf Oelfässer gelegen hatten, sowie auch die von Oel sehr durchdrungenen Jacken der Arbeiter, und es wäre nicht unmöglich, dass auch die Losungen des Wildes in heissen Sommern sich entzünden und Waldbrände erzeugen könnten. Von Entzündung fein gepulverter, noch warm in Fässer gepackter, zur Bereitung des Schiesspulvers dienender, Kohle

sind Erfahrungen genug vorhanden, um zur Vorsicht hierbei zu rathen. Es kann hiernach nicht schwer seyn, die sogenannten Selbstzünder oder Pyrophore aus kohlenstoffhaltigen Substanzen künstlich zu bereiten. Am bekanntesten unter diesen ist der von *Homberg* erfundene. Man erhitzt Alaunkrystalle auf einer eisernen Ofenschaufel so lange, bis alles Krystallisationswasser verschwunden ist, und die lockere Masse sich in ein feines, schmutzig weisses, Pulver verwandeln lässt, vermengt dieses dem Gewichte nach mit gleichen Theilen Kienruss und gereinigter Pottasche, füllt das schwarze Pulver in ein Medicinglas, setzt dieses in einen Schmelztiegel, umgiebt es bis an den Hals oder bis unter den oberen Rand mit trockenem Sande, und setzt dann den Tiegel in eine geräumige, gut ziehende Kohlenpfanne. Man thut wohl, die Kohlen allmälig zum Glühen zu bringen, damit das Glas nicht springt, dann aber muss das stärkste Glühen lange genug fortgesetzt werden, wobei die im Glase befindliche Masse selbst glühend erscheint. Der richtige Zeitpunct, wann der Pyrophor fertig ist, kündigt sich dadurch an, dass in der Mündung des Glases ein etwa 1 Zoll hohes bläuliches Flämmchen zum Vorschein kommt, welches sich ausblasen lässt, dann aber mit einem geringen Knalle wieder entzündet oder mit einem genäherten Fidibus entzünden lässt. Man kann dieses Flämmchen immerhin 2 bis 4 Minuten brennen lassen, dann aber muss man einen vorher bereiteten, möglichst genau schliessenden, Kreidestöpsel in die Oeffnung des Glases stecken, die Kohlen wegnehmen, nach einiger Zeit den Tiegel auf einen Stein setzen und abwarten, bis sich das Glas mit einem Korkstöpsel verschliessen lässt. Erst wenn der Tiegel hinlänglich abgekühlt ist, kann man das Glas herausnehmen, den Kork festdrücken und mit Wachs überziehen, worauf sich dann der Pyrophor länger als ein Jahr aufheben lässt, ohne seine Zündkraft zu verlieren. Oeffnet man das Glas, so wird sich der auf Papier oder ein Brett ausgeschüttete Pyrophor von selbst entzünden, ja wenn er gut ist, fängt das ausgeschüttete Pulver schon in der Luft an zu brennen, und die ganze Masse wird zu Asche. Es ist indess kaum zu bezweifeln, dass das

aus der Pottasche hierbei dargestellte Kaliummetall die Ursache der schnellen Entzündung im Sauerstoff der Luft sey. Anderweitige Bereitungsarten übergehen wir hier.

47) Eine eigenthümliche Art der Selbstentzündungen, die schauderhafteste, die sich denken lässt, die der Menschen, darf hier füglich angereihet werden. Vor allen Dingen muss man bemerken, dass das, was man Selbstverbrennung nennt, auf keinen Fall stattfindet, wenn irgend eine Entzündung von aussen, als an der Kleider u. s. w., Veranlassung giebt, allein man hat einige, wenn auch wenige, Beispiele, dass die Zerstörung und gänzliche Auflösung durch eine Art des Verbrennens von Innen heraus erfolgte. Zu den auffallendsten dieser Art gehört das der Gräfin *Zangari*, welche sehr corpulent und dem Genuss geistiger Getränke ergeben auf ihrem Zimmer allein gelassen, später mit Ausnahme des Schädels und der grösseren Knochen in eine höchst widerlich riechende Jauche verwandelt, ohne Spur eines eigentlichen Brandes gefunden wurde. Der Priester *Maria Berthol* war nach der Beschreibung *Battaglia's* weder corpulent noch ein übermässiger Trinker; dennoch aber will sein Wirth stellenweise über ihm aufsteigende Flammen gesehen haben, als er unter Schmerzen plötzlich mit Geschrei umgefallen war, nach wenigen Stunden im Delirium starb, und schnell in stärkste Fäulniss überging. Solche Flammen, die den Tod und ein Schwarzwerden der afficirten Glieder nach sich zogen, in einigen Fällen aber bloss Begleiter einer nachher geheilten Krankheit waren, sind zwar nur selten, aber oft genug beobachtet worden, um die Wahrheit der Sache zu begründen. Dieses vorausgesetzt haben einige geglaubt, die beschriebene Zerstörung des menschlichen Körpers sey unmittelbare Folge des übermässigen Genusses geistiger Getränke, indem der Spiritus durch gesteigerte Lebenswärme erhitzt sich entzünde und den Brand weiter verbreite; allein man hat die Flammen an den Händen, den Schultern u. s. w. gesehen, wohin sie auf diese Weise nicht gelangen konnten. Angemessener ist daher die Hypothese derer, welche meinen, durch einen noch im Leben eintretenden krankhaften Zersetzungsprocess werde

etwas von dem im menschlichen Körper vorhandenen Phosphor frei, verbinde sich mit dem stets, in diesem Zustande aber vorzugsweise, ausgeschiedenen Wasserstoff, dieses Gas entzünde sich bei'm Zutritt des Sauerstoffgases der Atmosphäre, und bedinge in Verbindung mit der ohnehin beginnenden und schnell gesteigerten Zersetzung die rasch vor sich gehende Auflösung und Zerstörung des Körpers. Eine gewichtige Unterstützung gewinnt diese Ansicht durch die allerdings nach Phosphor riechende Ausdünstung einiger solcher Personen, die seit längerer Zeit an den übermässigen Genuss geistiger Getränke, namentlich des Branntweins, gewöhnt waren.

48) Von höchstem Interesse sind die verschiedenen Mengungen, deren Bestandtheile lange Zeit ruhig neben einander liegen, dann aber durch eine geeignete Ursache sich so rasch und gewaltsam vereinigen, dass dadurch eine Explosion entsteht. Hierher gehört zuerst das Knallgas, ein Gemenge aus 2 Theilen Wasserstoffgas und 1 Theil Sauerstoffgas dem Volumen nach. Die vereinten Gase lassen sich willkührlich lange in Gefässen aufbewahren, ohne dass eine Vereinigung erfolgt, vorausgesetzt, dass die Temperatur nicht bis nahe zur Glühhitze steigt; werden sie aber z. B. im Tachopyrion (§. 37) schnell zusammengedrückt, nähert man ihnen eine Flamme oder lässt man nur den kleinsten elektrischen Funken durchschlagen, so verbinden sich beide zu Wasser unter Feuerwerdung von Glühhitze, welche das entstandene Wasser in Dampf verwandelt, mit einer Explosion, die so viel gewaltsamer ist, je weniger anderweitige nicht entzündliche Gase, als kohlensaures und Stickgas, in der Mengung vorhanden waren. Enthält das Wasserstoffgas zugleich Kohlenstoff oder hauptsächlich Phosphor, so ist die Explosion noch heftiger. Unter der Menge der hierher gehörigen Thatsachen verdienen vorzugsweise zwei hervorgehoben zu werden, die natürlichen Explosionen des Knallgases und die künstlichen mittelst der elektrischen Pistole. Die erste Klasse von Erscheinungen kommt leider nicht ganz selten und meistens mit schrecklichen Verheerungen vor. Wenn in Gängen, Minen oder sonstigen eingeschlossenen Räumen die Ausströmungs-

röhren des aus Steinkohlen oder Fetten bereiteten Leuchtgases (kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas) aus Versehen offen bleiben, oder die Zuleitungsröhren einen Riss bekommen, also das Gas ohne zu verbrennen ausströmt, und sich mit dem Sauerstoffgas der Atmosphäre vermengt, folglich eine beträchtliche Menge Knallgas gebildet wird, und sich dieses dann durch ein genähertes Licht entzündet, so zerschlägt die heftige Explosion die Wände und Decken der Häuser. Zum Glück kündigt sich das Leuchtgas durch seinen sehr übeln Geruch an, und Ereignisse dieser Art könnten sehr oft vermieden werden, wenn dieses Zeichen genügend beachtet würde. Eine ähnliche Explosion kann erfolgen, wenn in den Gewölben der Materialhandlungen eine Flasche mit Schwefeläther ausfliesst, oder diese Substanz bei der Bereitung sich verflüchtigt, die Räume mit ihrem Dampfe erfüllt, dieser sich mit dem Sauerstoffgas der Luft mengt und dann durch eine Lichtflamme entzündet wird. Am gefährlichsten ist das Kohlenwasserstoffgas, welches oft in grosser Menge in den Räumen der Kohlenbergwerke aus dem Boden und den Wandungen hervorquillt, und sich um so leichter anhäuft und mit dem Sauerstoffgas der Atmosphäre mengt, je geringer die Luftbewegung in den unterirdischen Räumen zu seyn pflegt, weswegen denn ungeachtet der Anwendung der Sicherheitslampen (§. 64) immer noch schauderhafte Unglücksfälle durch Explosionen dieser Art vorkommen. Wird künstlich bereitetes Knallgas in geeignete Apparate von hinlänglicher Stärke der Wandungen eingeschlossen, ist zugleich eine Vorrichtung angebracht, dass ein kleiner elektrischer Funke durch einen Theil des Gemenges schlägt, so nennt man dieses eine elektrische Pistole. Zu den physikalischen Spielereien gehört es, wenn ein auf dem Isolatorio stehender Mensch, welcher aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine Elektricität aufgenommen hat, durch den aus seinem Finger strömenden Funken die Entzündung bewirkt. Füllt man eine Thierblase mit Knallgas und bildet man mittelst des aus einem hölzernen Röhrchen oder einem irdenen Pfeifenstiele ausströmenden Gases Seifenblasen, so explodiren diese durch die Lichtflamme, entzündet mit einem hef-

tigen, das Ohr stark afficirenden Knalle. Dass auch das Knallgas im Eudiometer und das aus einer Spitze der elektrischen Lampen ausströmende Wasserstoffgas durch den elektrischen Funken entzündet werde, lässt sich als bekannt voraussetzen.

49) Die bekannteste und wichtigste explodirende Substanz ist das Schiesspulver, dessen Kraft darauf beruhet, dass nach eingeleiteter Entzündung die Bestandtheile augenblicklich verbrennen, dadurch in gasförmige Körper verwandelt, diese durch die Hitze zugleich sehr ausgedehnt werden, und bei ihrer momentanen Ausbreitung die diese hindernden Körper gewaltsam fortstossen. Die nächsten wesentlichsten Bestandtheile des Schiesspulvers sind Kohle und Salpeter, beide fein gepulvert, damit jedes kleinste Theilchen Kohle mit einem Theilchen Salpeter in Berührung sey, und den in der Salpetersäure desselben enthaltenen Sauerstoff augenblicklich aufnehme, oder damit verbrenne. Da die Darstellung des Schiesspulvers in kleinen Körnern nothwendig ist, damit die Flamme sich durch die Zwischenräume schnell verbreite, so wird dadurch ein Zusatz von Schwefel unentbehrlich, welcher sich ausserdem beim Verbrennen mit dem Kalium des Salpeters verbindet, und dadurch die Menge der elastischen Flüssigkeit vermehrt. Ein gutes Schiesspulver besteht aus 75 Theilen Salpeter, 13 Theilen Kohle und 12 Theilen Schwefel, bei schlechterem wird, da der Salpeter unter diesen Substanzen die theuerste ist, etwas weniger hiervon genommen. Durch das Verbrennen bildet sich Kohlensäure aus der Verbindung des Sauerstoffs des Salpeters und der Kohle, Stickstoffgas aus dem Stickstoff des Salpeters und Schwefelkalium aus dem der Säure beraubten Kali des Salpeters und dem Schwefel, und wenn diese bei gewöhnlicher Temperatur etwa einen 370 mal so grossen Raum, als den des Schiesspulvers einnehmen, durch etwa 640° Hitze aber in einen 4mal so grossen Raum ausgedehnt werden, so beträgt dieses 1480, und in einen so viel grösseren Raum wird also das Schiesspulver ausgedehnt. Diese Bestimmung genügt, um die ausserordentliche Kraft des explodirenden Schiesspulvers zu erklären, denn da die gewöhnliche Luft mit nahe 15 Pfund gegen einen pariser Quadrat-

zoll drückt, so giebt dieses einen Druck von 22200 Pfund gegen 1 Quadratzoll Fläche, dessen Wirkung noch dadurch wächst, dass sie wegen plötzlichen Eintretens einem Stosse gleicht. Könnte die Hitze des Gases noch grösser angenommen werden, so würde diesem proportional auch die Wirkung grösser seyn; doch dürften die gegebenen Bestimmungen der Wahrheit mindestens sehr nahe kommen. Von der anderen Seite wird die Kraft durch verschiedene Ursachen gemindert. Zuerst ist die Entzündung nicht im strengsten Sinne so momentan, als sie nach unserer unvollkommenen Methode des Messens zu seyn scheint; es ist daher schon ein Theil des Pulvergases ausgedehnt und der einschliessende Raum vergrössert, wenn die folgenden Theile gebildet werden. Dieser Umstand ist übrigens dem Fortschleudern der Kugeln günstig, denn die Kugel bewegt sich, wie man auch aus den Windungen der gezogenen Büchsen ersehen kann, anfangs langsamer, nimmt aber durch das nachdrückende Pulvergas zu, bis sie beim Austritt aus der Mündung des Laufes, dessen Länge hiernach eingerichtet seyn muss, ihr Maximum erreicht, und dann durch die Reibung im Laufe nicht gehindert fortfliegt. Die Zeitdauer der Entzündung ist übrigens bei feinkörnigem Schiesspulver am kürzesten, beim fein zerfallenen oder gemahlenen und festgestampften ist sie so lang, dass der grösste Theil der explodirenden Kraft verschwindet, bei sehr grobkörnigem schlechtem zwar kürzer, aber immer noch so lang, dass unverbrannte Körner aus der Mündung geschleudert werden. Ohne dieses zu berücksichtigen, wird die Kraft zweitens dadurch vermindert, dass das glühende Pulvergas einen Theil seiner Wärme an die Wandungen des Laufes abgiebt, weswegen warme Geschütze schärfer schiessen. Drittens endlich kann ein Theil des Gases neben der Kugel oder durch das Zündloch entweichen; doch wird Ersteres durch den Pfropfen und das Pflaster, Letzteres durch den Verschluss des Zündlochs in vielen Fällen vermieden.

Wir wollen hier beiläufig bemerken, dass vielleicht eine der verschiedenen Arten des griechischen Feuers aus einer dem Schiesspulver ähnlichen explodirenden Mischung bestand; gewis-

dagegen ist, dass *Roger Baco*, welcher 1284 starb, die Zusammensetzung aus Salpeter, Kohle und Schwefel kannte, denn er nennt sie in seinem Buche *de nullitate magiae* eine solche, durch die sich Blitz und Donner nachmachen lasse. Vermuthlich wurde es durch *Schwarz* um 1300 bekannt, denn nach dieser Zeit kam es allmälig in Gebrauch.

50) Die dem Schiesspulver am nächsten kommende Mischung ist das Knallpulver, welches aus 3 Theilen Salpeter, 2 Theilen kohlensaurem Kali und 1 Theile Schwefel besteht. Werden diese Substanzen in möglichst trockenem Zustande genau gemengt und mit einer glühenden Kohle berührt, so erfolgt eine rasche Verbrennung; erhitzt man aber das Pulver allmälig auf einem Bleche, so wird es vom Rande aus teigig und braun, und explodirt mit einem heftigen Knalle und dem Zerschmettern des Bleches. Man nimmt an, dass der Schwefel mit dem Kali Schwefelleber bildet, die in der Hitze dem Salpeter den Sauerstoff entreisst, den Stickstoff desselben aber frei macht, welcher dann die Explosion verursacht. Das Schmelzpulver aus 3 Theilen Salpeter, 1 Theile Schwefel und 1 Theile Sägespähnen ist eine blosse Spielerei. Füllt man damit eine Nussschale gehäuft voll, legt man einen Silberkreuzer hinein und entzündet es, so schmilzt das Metall zu einer Kugel, ohne dass die Nussschale gänzlich verkohlt wird.

51) Das Schiesspulver explodirt nur dann, wenn die Verbindung der verbrennenden Substanzen durch Entzündung eingeleitet ist; es giebt aber noch ausserdem verschiedene Mischungen, bei denen eine ähnliche, mit Erzeugung von Licht und Wärme verbundene Vereinigung, also ein Verbrennen und eine gleichzeitige Erzeugung eines mit Gewalt hervorbrechenden elastischen Körpers, also eine Explosion, durch blosses Reiben, Stossen oder Schlagen hervorgerufen wird, und deren Behandlung daher noch weit grössere Vorsicht erfordert. Einige der bekanntesten unter ihnen, und der wichtigsten wegen ihres praktischen Gebrauches, verdienen hier erwähnt zu werden. Dahin gehört das Knallgold,

das Knallquecksilber und zwei Arten Knallsilber, drei Salze, welche eine eigenthümliche Säure, die Knallsäure, enthalten, deren Zersetzung die Explosion bewirkt. Das Knallquecksilber hat man zur Bereitung der kleinen Zündhütchen für Percussionsgewehre verwandt, kleine Hütchen von sehr dünnem Kupfer, in welche ein Tropfen mit Benzoë oder einem sonstigen Bindemittel verbundenen Knallquecksilbers gebracht wird; das stärkere Knallsilber wird zur Bereitung der Knallfidibus, Knallerbsen und anderer nicht ganz gefahrloser, Spielereien verwandt, indem man eine sehr kleine Quantität desselben mit Stärkekleister mengt, diesen zwischen zwei Lagen Papier oder gespaltene Kartenblätter bringt, damit durch Entzündung oder Zerreissung des Papiers eine Explosion erfolgt; die Knallerbsen aber sind kleinere, oder zuweilen grössere, hohle Glaskugeln mit Papier überklebt, dessen Kleister auf die angegebene Weise bereitet wird. Durch Zerschlagen, Zerstossen oder Zerdrücken des Glases und die dadurch verbundene Reibung entsteht die gewaltsame Explosion. Weitere Vorschriften zur Bereitung und Behandlung dieser Substanzen werden hier billig übergangen, da sie zu Versuchen veranlassen könnten, die schon oft die gefährlichsten, selbst tödtliche, Verletzungen zur Folge hatten.

52) Von noch ausgebreiteterem Gebrauche ist das chlorsaure, früher sogenannte hyperoxygenirtsalzsaure Kali. Das in diesem Salze vorhandene Chlor ist die nämliche Substanz, welche zur chemischen Bleiche der Zeuge, des Papiers u. s. w. und zu den Räucherungen dient, durch die man Ansteckungstoffe zerstört, die aber die Athmungswerkzeuge bis zum Bluthusten und zur erstickenden Zusammenziehung reizt. Die schnelle Verbindung des Chlors mit Metallen, und hauptsächlich mit leicht verbrennlichen Substanzen, ist ein eigentliches Verbrennen, und unter geeigneten Umständen mit den heftigsten Explosionen verbunden, hauptsächlich wenn das Chlor mit Sauerstoff und Kalium vereint das genannte Knallsalz bildet. Zerreibt man in einem etwas erwärmten Serpentinstein-Mörser eine geringe Kleinigkeit trockener Schwefelblumen, und bringt man einige Blättchen des Salzes hin-

ein, so erzeugt das fortgesetzte Reiben mit dem Pistill ein fortdauerndes Knistern, bis zum ganz eigentlichen Knallen und dem Fortschleudern des Stempels. Geringere Explosionen finden selbst dann noch statt, wenn man nach dem Einreiben des Schwefels allein, oder auch mit dem Salze vereint, das Innere des Mörsers mit einem Tuche abreibt. Wird ein dünnes Scheibchen Phosphor mit einer kleinen Menge dieses Salzes bestreuet, wobei man diese Substanzen auch in etwas Papier einwickeln kann, dann auf einen Ambos gelegt und mit einem schweren Hammer geschlagen, so erfolgt eine furchtbare Explosion, die durch das Umherstreuen des brennenden Phosphors höchst gefährlich wird. Gefahrlos lässt sich der Versuch anstellen, wenn man eine geringe Menge Phosphor auf einem kleinen Ambos festreibt, etwas von diesem Salze darauf streuet, und dann mit einem Hammer schlägt, doch muss man während des Schlagens die Augen schliessen, damit kein Phosphortheilchen hineinfliegt. Auf der leichten und augenblicklich durch Stoss und Druck bewirkten Entzündung der mit diesem Salze verbundenen brennbaren Substanzen beruhet die Verwendung desselben zu dem sogenannten Zündpulver und den Knallkügelchen für die Percussionsgewehre. Die wesentlichen Bestandtheile dieser Verbindungen sind das chlorsaure Kali, Schwefel und eine kohlenstoffhaltige Substanz. Man bereitet daher das Zündpulver aus diesem Salze, Schwefel, Hexenmehl, Holzstaub und etwas zugesetztem Salpeter, die Zünd- oder Knallkügelchen aber aus 100 Theilen chlorsaurem Kali, 12 Theilen Schwefel und 10 Theilen Kohlenpulver, oder aus 100 Theilen chlorsaurem Kali, 42 Theilen Salpeter, 36 Theilen Schwefel und 14 Theilen Hexenmehl. Es ergiebt sich hieraus auf den ersten Blick, dass ein genaues Innehalten der Quantitäten dieser Mengungen keineswegs erforderlich ist, und es wäre daher überflüssig, die verschiedenen in Anwendung gebrachten Vorschriften der Bereitung hier aufzunehmen.

53) Hierher gehören auch die bekannten, in wahrhaft unermesslicher Menge fabricirten, chemischen Zündhölzchen. Die früher üblichen bestanden aus Schwefelhölzchen, deren mit

Schwefel überzogene Enden in eine dickflüssige Mischung aus chlorsaurem Kali, Schwefel, Harz, Zucker, Tragantschleim und etwas Zinnober zum Färben getaucht wurden, um eine dünne Kruste über dem bereits aufsitzenden Schwefel zu erzeugen. Durch das Benetzen des Ueberzugs mit ein wenig Schwefelsäure, die zur Abhaltung einer zu grossen Menge auf feinen Kiessand oder besser Asbest bis zur blossen Tränkung gegossen wurde, erfolgte eine Zersetzung des Salzes, und die dadurch erzeugte Entzündung setzte den Schwefel in Brand. Weil die Schwefelsäure Wasser aus der Luft anzieht, und dadurch untauglich wird, auch leicht den Kork zerstört oder sonstige Beschädigungen verursacht, so verliess man diese Methode, setzte dagegen dem Ueberzuge etwas Glaspulver zu, um die Entzündung durch Reiben an rauhen Flächen zu bewirken.

54) Diese Methode besteht noch jetzt, jedoch hat man hierfür einen Zusatz von Phosphor gewählt. Zur Bereitung solcher Zündhölzchen und des Zündschwammes hat man verschiedene Vorschriften gegeben. Enthält die bereitete Masse chlorsaures Kali, so ist die Entzündung stets mit einem Geräusch und einer geringen Explosion verbunden, und da die Bereitung den Arbeitern leicht Gefahr bringt, so hat man dieses neuerdings weggelassen. Eine sehr passliche Masse besteht nach dem Gewichte aus 16 Theilen arabischem Gummi oder Gummi-Traganth, 9 Theilen Phosphor, 14 Theilen Salpeter und 16 Theilen fein geschlemmtem Braunstein. Man löset in einem geeigneten Gefässe, einer Porcellanschale, das Gummi mit Wasser zu einer dickflüssigen Masse auf, setzt den Braunstein zu und dann den Phosphor in kleinen Stücken, erwärmt die Masse bis höchstens 50^0 und reibt sie mit einer unten flachen Reibkeule anhaltend unter einander, damit der Phosphor überall gleichmässig verbreitet wird, und schüttet dann erst den Salpeter hinein, wobei mit dem Rühren so lange fortgefahren werden muss, bis alle Bestandtheile in dem nicht zu dünnen Brei ganz gleichmässig vertheilt sind. In diesen taucht man die Schwefelhölzchen so, dass deren Schwefel einen dünnen Ueberzug erhält, den man in mässig warmer Luft trocknet, und dann zur Ab-

haltung des Sauerstoffs und der Feuchtigkeit der Luft vortheilhaft mittelst eines Pinsels mit Copalfirniss oder mit einer Auflösung von Gummi, der etwas Salpeter zugesetzt ist, dünn überstreicht. Zündschwamm, oder besser eine lockere Art Pappe, mit aufgelöstem Salpeter getränkt und dann in die Masse getaucht, entzündet sich durch Reiben, und lässt eine verglimmende Kohle zurück. Bei diesen geräuschlosen Zündhölzchen ist es also der Phosphor, welcher sich durch Reiben entzündet und den Schwefel in Brand setzt.

55) Die zuletzt genannten explodirenden Substanzen unterscheiden sich vom Schiesspulver wesentlich dadurch, dass die Zersetzung derselben und die Entbindung einer elastischen Flüssigkeit ungleich schneller, aber in weit geringerer Menge erfolgt, woher es denn kommt, dass der erzeugte Stoss und die hierauf beruhende zerstörende Kraft in der nächsten Umgebung weit stärker, das Vermögen aber, Körper weit fortzuschleudern, ungleich geringer ist. Hieran scheiterten die Versuche, die man gemacht hat, sie bei den Geschützen anzuwenden, weil man hoffte, dass sie die Kugeln ungleich weiter fortschleudern würden; doch liegt auch ein wesentliches Hinderniss hiergegen in dem Umstande, dass sie sich beim Transporte durch Reiben entzünden würden. Man hat es versucht, mit einem aus chlorsaurem Kali, Kohle und Schwefel bereiteten Schiesspulver Kanonen zu laden, allein der Lauf des Geschützes wurde nach seiner ganzen Länge aufgerissen, die Kugel aber kaum 20 Schritt weit fortgeschleudert. Ein Knabe zerbiss einst eine Knallerbse, die ihm 4 Zähne ausriss, ohne weitere Beschädigung, und *Goldschmidt*, ein Fabricant solcher Spielereien, verschloss einst eine kleine Schachtel voll Knallsilber, die er in der linken, auf einem Tische ruhenden, Hand hielt, während er mit der rechten den Deckel darauf drückte. Die sich hierdurch entzündende Masse schlug ihm die linke Hand durch die Tischplatte, riss die Finger der rechten Hand ab und verwundete ihn in der Herzgrube so stark, dass er nach wenigen Stunden starb; zwei an jeder Seite dicht neben ihm stehende Personen blieben aber ganz unbeschädigt. Man wollte aus ähnlichen Erscheinungen schliessen,

die Kraft der explodirenden Substanzen äussere sich nur in herabwärtsgehender Richtung, allein eigens deswegen angestellte Versuche widerlegen diese theoretisch unbegründete Ansicht, deren Täuschung darauf beruhet, dass die Explosion sich nur in geringe Entfernung erstreckt, desto auffallender aber die ihr zunächst befindliche Unterlage trifft.

56) Die bisher untersuchten Verbindungen enthalten die Bedingungen des Verbrennens in sich, insofern die sich mit Ausscheidung von Licht und Wärme verbindenden Substanzen neben einander liegen; die Verbrennung geschieht daher, sobald sie eingeleitet ist, unter allen Umständen, im luftleeren Raum, in allen Gasarten, unter Wasser und in abgeschlossenen, die Masse einschliessenden Räumen. Wenn man früher glaubte, das Schiesspulver entzünde sich nicht im leeren Raume, und dieses durch ein kleines Flintenschloss bewies, welches unter einer exantlirten Glocke losgeschlagen wurde, so beruhete dieses auf einer Täuschung. In der verdünnten Luft nämlich fehlt das Sauerstoffgas, durch welches die abgerissenen Stahlblättchen beim Feuerschlagen glühend werden (§. 41), und sie können daher das Schiesspulver auf der Pfanne nicht entzünden; mit einem Zündhütchen dagegen würde dieser Versuch ein ganz anderes, höchst gefährliches, Resultat geben. Inzwischen entzündet sich das Schiesspulver im hinlänglich grossen luftleeren Raume wirklich nicht, weil durch die beginnende Hitze der Schwefel verflüchtigt wird, der Salpeter durch Schmelzen sich unten vereint und die Kohle darüber liegt, das Schiesspulver also verdorben wird.

57) Die Erscheinungen des Verbrennens in der angegebenen allgemeinen Bedeutung des Wortes sind übrigens so mannigfach und von so vielseitigem wichtigen Einflusse, dass sie eine nähere Betrachtung verdienen. Bei weitem in den meisten Fällen, man darf annehmen 100 gegen 1, besteht das Verbrennen in einer Verbindung des überall verbreiteten, namentlich in der Luft vorhandenen, Sauerstoffs mit irgend einer verbrennlichen (säuerungsfähigen) Substanz, und wir wollen daher bei den folgenden Unter-

suchungen diese specielle Classe von Erscheinungen ausschliesslich im Auge behalten. Es folgt hieraus dann unmittelbar, dass bei gänzlicher Abwesenheit des Sauerstoffs das Verbrennen ganz unmöglich, zugleich aber um so mehr erschwert wird, je geringer die Menge des vorhandenen Sauerstoffs ist und je weniger begierig die Körper denselben aufnehmen. Ist dagegen die erforderliche Menge Sauerstoff vorhanden und ist sie mit den Theilen des verbrennlichen Körpers in genauer Berührung, so erfolgt ein Verbrennen mit Explosion, wie beim Knallgas und dem Schiesspulver. Füllt man eine Glocke mit Sauerstoffgas und senkt man in diese eine Stahlfeder hinab, deren Spitze durch einen elektrischen Flaschenschlag oder ein aufgestecktes Stückchen Zündschwamm glühend wird, so verbrennt die Feder zu einer Schlacke. Auch Phosphor, Schwefel, Kohle u. s. w. verbrennen gewaltsam in dieser Gasart. Senkt man in eine Flasche, welche nur Luft, also Stickgas mit 21 pC. Sauerstoffgas enthält, einen unten glimmenden Holzspahn, so wird dieser sehr bald auslöschen; verschliesst man die Flasche in der Zwischenzeit, und senkt man ein Stück brennenden Schwefel hinein, so erlöscht auch dieser; ein demnächst hineingehaltenes brennendes Stück Phosphor erlöscht gleichfalls bald, und es ist dann kein Brennen mehr möglich, weil auch die letzten Antheile des von den verschiedenen Körpern mit ungleicher Begierde aufgenommenen Sauerstoffgases verzehrt sind. Legt man auf eine Korkscheibe, welche auf Wasser schwimmt, ein Stück Phosphor, und stürzt man, nachdem dieses entzündet ist, eine Glocke darüber, so dehnt sich anfangs die Luft durch die Hitze stark aus, allein das Sauerstoffgas der Luft wird völlig verzehrt, das Wasser steigt in der Glocke auf, und in der rückbleibenden Luft ist kein Brennen mehr möglich, indem selbst der Phosphor erlöscht, den man jedoch nachher an freier Luft oder nach dem Zutritt von neuem Sauerstoffgas wieder entzünden kann. Lässt man in ein Schoppenglas, welches in einem geeigneten Gefässe mit nicht zu kaltem Wasser gefüllt und umgekehrt ist, Kohlensäure (aus Kreidepulver und verdünnter Schwefelsäure entwickelt) aufsteigen, bedeckt man die Oeffnung unter Wasser mit

einer Glasscheibe, um das Glas ohne das Ausfliessen des schweren Gases auf einen Tisch zu stellen, zieht man, ohne Luftbewegung zu erzeugen, die Glasscheibe seitwärts ab, so erlöscht eine hineingesenkte Kerzenflamme. Einen artigen Versuch giebt es, wenn man am Boden eines Trinkglases ein Ende Wachsstock befestigt, dieses anzündet und die Kohlensäure aus einem andern, damit gefüllten, Glase vorsichtig hineingiesst, indem dann die Flamme, sowie die hineingegossene Kohlensäure aufsteigt, ausgelöscht wird. Man kann dieses Umgiessen sogar etliche Male wiederholen, auch die Gläser mit Kohlensäure füllen, wenn man die Mündung des Rohrs, aus welchem sie bei der Entwickelung strömt, auf den Boden des Gefässes bringt. Ist in der Luft so wenig Sauerstoff oder auch so viel Kohlensäure vorhanden, dass eine Kerzenflamme darin nicht brennt, so hört darin auch der Athmungsprocess durch krankhafte Zusammenziehung der Respirationsorgane auf, und es erfolgt Erstickung. Hieraus und aus dem grossen Gewichte der Kohlensäure werden verschiedene Erscheinungen erklärbar. Die Kohlensäure dringt in grossen Massen an verschiedenen Orten aus der Erde, namentlich an solchen Orten, wo sie an Wasser übergehend die Kohlensäuerlinge bildet. Sammelt sie sich dann über dem Boden, so wirkt sie tödtlich vorzugsweise auf Thiere, deren Athmungswerkzeuge dem Boden näher sind, wie in der Hundsgrotte bei Neapel, der Höhle unweit Pyrmont u. s. w. Wird sie in Kellern durch gährende Getränke, oder in tiefen Brunnen, Kloaken und sonstigen Räumen durch Fäulniss in grossen Massen entbunden, ohne abzufliessen, so kann sie hinabgestiegene Menschen tödten, weswegen man zuvor ein Licht hinabsenkt, um zu sehen, ob dieses brennend bleibt, und so die Gefahr zu vermeiden. Sammelt sich die Kohlensäure in den Bergwerken, so giebt dieses die gleichfalls gefährlichen erstickenden Wetter, die sich von den oben (§. 48) erwähnten schlagenden unterscheiden. Eben wie im kohlensauren Gas ist auch im Stickgas und Wasserstoffgas das Brennen unmöglich. Rücksichtlich des ersten zeigt sich dieses auffallend durch das angegebene Erlöschen des Phosphors in dem rückständigen Stickgas der Luft, nachdem

deren Sauerstoffgas verzehrt ist; auch hat man oft Beispiele gehabt, dass in verschlossenen Zimmern und sonstigen Räumen ausgebrochenes Feuer von selbst wieder ausging, weil das verzehrte Sauerstoffgas nicht schnell genug ersetzt wurde, und überhaupt lassen sich brennende Stoffe oft eben so leicht als schnell löschen, wenn man nur den Zutritt frischer Luft abhält, was bei allen Zufällen dieser Art erste und wichtigste Regel ist. Dahin gehört dann auch das Verfahren, bei brennenden Schornsteinen eine geeignete Parthie Schwefel auf dem Heerde zu verbrennen, weil die gebildete und aufsteigende schweflige Säure das Sauerstoffgas im Kamine verzehrt, und die Möglichkeit des weiteren Brennens hindert. In Holland pflegt man die Schornsteine auszubrennen, sie aber zu rechter Zeit mit einer Klappe zu verschliessen; jedoch setzt dieses Verfahren gut und fest gemauerte Schornsteine und einen genauen Verschluss voraus. Das zweite, die Unmöglichkeit des Brennens in Wasserstoffgas, lässt sich schwerer zeigen, weil dieses Gas begierig Sauerstoffgas aufnimmt, damit Knallgas bildet, und dann heftig explodirt; doch gewährt folgendes Verfahren ein interessantes Experiment. Man fülle ein etwas grösseres Glas mit nicht zu engem Halse, nachdem man es mit Wasser gefüllt und unter Wasser umgekehrt hat, mit Wasserstoffgas, indem man die Mündung eines gekrümmten Rohres (Entbindungsrohr), dessen anderes Ende in die Oeffnung eines mit Zink oder Eisenstücken und sehr verdünnter Schwefelsäure gefüllten Medicinglases gesteckt ist, unter dasselbe bringt, hebe es, die Oeffnung nach unten gerichtet und stets in horizontaler Ebene gehalten, in die Höhe, und bringe von unten einen brennenden Wachsstock hinein. Das Gas, welches sich durch seine Leichtigkeit in dem umgekehrten Glase hält, wird sich am Rande entzünden und daselbst verbrennen, die Flamme des Wachsstocks aber erlischt im Innern und entzündet sich beim Herausfahren wieder im brennenden Gase, so dass man es mehrmals durch Eintauchen in das Glas von unten her entzünden und durch tieferes Hineinbringen in das Innere des Glases wieder auslöschen kann. Man muss hierbei übrigens vermeiden, dass keine Luft eindringe und Knallgas gebildet werde, weswegen

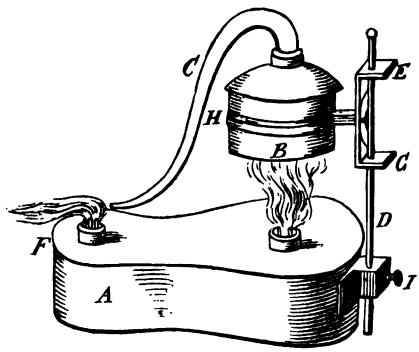
man wohlthut, das Glas zeitig genug, die Mündung stets horizontal und nach unten gerichtet gehalten, wieder in das Wasser herabzusenken.

58) So wie die Abwesenheit des Sauerstoffgases oder der 21 pC. desselben enthaltenden atmosphärischen Luft das Verbrennen hindert oder ganz aufhebt, muss der Ueberfluss dieses Gases dasselbe befördern. Wenn sich daher (§. 37) das Oel in einem Windbüchsenbehälter durch Luftcompression entzündet, so könnte man zwar schliessen, in Folge des bald verzehrten Sauerstoffgases müsse das Brennen in dem fest abgeschlossenen Raume sehr bald aufhören; allein obgleich dieses nothwendig geschehen muss, so ist dennoch zugleich bis dahin die glühende, durch den Oeldampf vermehrte, Luft so gewaltsam ausgedehnt, dass die stärksten Wandungen nicht mehr zu widerstehen vermögen. Wenn man aber berücksichtigt, wie leicht das bereits verzehrte Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft, bloss durch den freien Zutritt der letzteren und ohne die sogleich anzugebenden künstlichen Hülfsmittel ihrer stets erneuerten Herbeiführung, wieder ersetzt zu werden pflegt, so begreift man leicht, warum es höchst gefährlich ist, bei ausbrechendem Feuer sogleich Fenster, Thüren und Camine zu öffnen, wozu die Unbequemlichkeit des Rauches und oft blosse Neugierde Veranlassung geben, und mancher Brand würde bald erstickt und gar nicht zum Ausbruche gekommen seyn, wenn mit gehöriger Besonnenheit jeder Zutritt der Luft möglichst abgehalten worden wäre.

59) Diejenigen künstlichen Vorrichtungen, mittelst deren man das Brennen befördert, nennt man im Allgemeinen Gebläse, deren zahlreiche verschiedene Arten zu beschreiben zwar der Raum nicht gestattet, doch mögen die wichtigsten derselben genannt werden. Als einfachster Process gehört dahin das bekannte Blasen mit dem Munde, wobei nicht bloss die aus dem Munde strömende, sondern zugleich die hierdurch fortgestossene und in Bewegung gesetzte, Luft, dem brennenden Gegenstande zugeführt wird; ferner die Luftschwinge oder der Luftwedel der Klempner und Giesser, das Ofenblasrohr und das Löthrohr. Künstlicher sind die Blasbälge, die Handblasbälge und die der Glasbläser, die grösse-

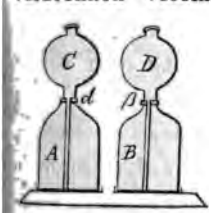
ren der Schmiede und die noch grösseren in den Hüttenwerken, die meistens durch Wasserkraft bewegt werden. Die Cylindergebläse bestehen aus einem oben und unten luftdicht verschlossenen Cylinder mit einem Kolben, dessen Stange gleichfalls luftdicht durch den Deckel geführt ist, und auf- und abwärts bewegt werden kann. In beiden Deckeln ist ein Ventil, wovon das obere sich schliesst, wenn der Embolus aufsteigt, das untere aber, wenn er herabgeht, so dass in beiden Fällen die abgesperrte, bei entgegengesetzter Bewegung durch die geöffneten Ventile eingedrungene, Luft durch eine, gleichfalls mit einem geeigneten Ventile versehene, Röhre ausströmt. Statt der theueren Cylinder von Metall, meistens Gusseisen, nimmt man auch hölzerne vierkantige Kasten, die des einfacheren Baues wegen oben unbedeckt sind, und daher nur beim Niedergehen des Kolbens wirken. Beide Gebläsearten haben viel Reibung, auf deren Ueberwindung ein grosser Theil der Kraft verwandt wird, und wenn diese daher gespart werden muss, so wählt man lieber das von *Joseph von Baader* erfundene hydrostatische Cylindergebläse. Bei diesem wird ein oben verschlossener hohler Cylinder oder sonstig geformter Körper in eine Cisterne mit Wasser gesenkt, so dass die unter ihm abgesperrte Luft vermöge des drückenden Sperrwassers aus einem geeigneten Rohre ausströmt; beim Aufheben dagegen dringt frische Luft durch ein geeignetes Ventil im Deckel ein. Von den Gebläsen dieser Art sind stets mehrere vereint, auch wird die ausgetriebene Luft aller in einen gemeinschaftlichen Behälter geführt, um aus diesem gleichmässig auszuströmen, und die dem Verbrennungsprocesse nachtheilige Unterbrechung des Blasens beim Wechsel des Auf- und Niederganges der Maschinentheile zu vermeiden. Das von *Henschel* erfundene Kettengebläse und die sonstigen minder gebräuchlichen hydraulischen Gebläse zu beschreiben würde zu weitläuftig seyn.

60) Die Wirkung eines Gebläses muss wachsen, wenn die zugeführten Substanzen selbst das Brennen befördern. Von dieser Art, mehr jedoch nur seiner Bequemlichkeit wegen empfehlenswerth, ist das in verschiedenen Formen ausgeführte



Weingeistlampengebläse. Eine Weingeist enthaltende Kugel ist über einer Weingeistlampe befestigt, deren Flamme den in der Kugel eingeschlossenen Weingeist zum Sieden bringt. Der hierdurch gebildete Weingeistdampf entweicht durch ein gekrümmtes Rohr, dessen Mündung gegen die Flamme gerichtet ist, und diese gegen den zu schmelzenden Gegenstand treibt. Hierbei wirkt übrigens der Weingeistdampf, welcher keinen Sauerstoff enthält, vorzugsweise als mechanisches Mittel, indem er die Luft vor sich hintreibt, deren Sauerstoff dann das Verbrennen unterhält. Wenn nun schon hierdurch die Intensität des Verbrennens gesteigert wird, so lässt sich leicht erachten, wie viel mehr dieses durch die Marcetsche Lampe geschehen muss. Diese besteht aus einer Weingeistlampe, durch deren Flamme ein aus einem engen Rohre ausfliessender Strom Sauerstoffgas strömt, welches für diesen Zweck in einem geeigneten Gefässe, einem Gasometer, durch Wasser abgesperrt ist; doch kann man im Kleinen eine damit angefüllte Thierblase anwenden. Die hierdurch erzeugte Hitze ist so gross, dass man darin Eisen verbrennen und Platin schmelzen kann; noch wirksamer aber ist das sogenannte Knallgasgebläse, bei welchem das aus einer feinen Oeffnung strömende Knallgas (2 Theile Wasserstoffgas und 1 Theil Sauerstoffgas dem Volumen nach) aus einer feinen Spitze strömt, und dann angezündet selbst die Flamme bildet. Es giebt zwei Arten dieses Gebläses. Die eine, von *Clarcke* gebrauchte, besteht aus einem Behälter, in welchen das bereits gemengte Gas gepumpt wird, und dann durch ein enges Rohr ausströmt, an dessen Ende man dasselbe entzündet. Bei dieser Einrichtung ist die Gefahr, dass sich das Gas schon beim Einpumpen, oder durch die in das Gefäss dringende Flamme ent-

zünde, was dann eine lebensgefährliche Explosion zur Folge hat, noch nicht völlig vermieden, weswegen ich die hierzu vorgeschlagenen Apparate nebst deren Sicherungsmitteln übergehe. Die zweite durch *Hare* angegebene Construction ist völlig gefahrlos, weil beide getrennte Gase sich erst unmittelbar vor dem Verbrennen vereinigen. Im Wesentlichen besteht das Gebläse



aus zwei grossen Gasbehältern *A* und *B* auf einem gemeinschaftlichen Brette, jedes mit einer Kugel *C* und *D* versehen, die mit Wasser gefüllt werden, und durch die herabgehenden Röhren die in den Gefässen enthaltene Luft absperren. Zum Füllen kann seitwärts in jeder Fassung ein Rohr mit einem Hahn angebracht werden, um das gleichfalls durch einen Hahn abgesperrte Rohr einer mit dem Gase gefüllten Thierblase hineinzustecken, und das Gas durch Druck in das vorher mit Wasser gefüllte Gefäss zu pressen, während das Wasser durch die vertical herabgehende Röhre in die Kugel steigt; oder man kann auch durch die Kugel und deren Röhre eine dünnere, unten etwas umgebogene, Röhre zum Füllen herabsenken. Letztere Vorrichtung ist auf allen Fall für das Wasserstoffgas, wovon die doppelte Menge verbraucht wird, am geeignetsten, indem man das obere Ende der eingesenkten Röhre umbiegt, und in ein Medicinglas steckt, in welchem das Gas aus Zink oder Eisen und verdünnter Schwefelsäure entbunden wird. Aus jeder Fassung geht eine mit dem Inneren der Gefässe *A* und *B* communicirende, aussen durch einen Hahn verschlossene Röhre, aus welcher die Gase in Folge des Wasserdruckes ausströmen; beide vereinigen sich in der Mitte vor beiden Gefässen in eine gemeinschaftliche, mit einer Spitze versehene Röhre, aus welcher also entweder jede der einzelnen Gase, dessen Hahn allein geöffnet ist, oder beide zusammen ausströmen können, um vor der Oeffnung entzündet die Knallgasflamme zu geben. Die gemeinschaftliche Ausflussröhre darf nicht mit einem Hahn versehen seyn, denn wenn sonst dieser verschlossen, die beiden andern aber geöffnet sind, so mengen sich beide Gase zu Knallgass, und

die Sicherheit des Apparates geht verloren; auch wird eine grössere Weite des gemeinschaftlichen Rohres dadurch nachtheilig, dass die Flamme von der Spitze in diesen Raum dringen und das Gas vor dem Ausströmen unmittelbar nach seiner Vereinigung verbrennen kann. Dagegen lässt sich sehr vortheilhaft die Quantität jedes einzelnen Gases durch angemessenes Oeffnen der Hahnen reguliren, auch kann man die zu schmelzenden Substanzen, die man bequem auf ein Stück Holzkohle, oder Graphit oder Kreide legt, anfangs erst durch die Wasserstoffgasflamme erhitzen, dann aber durch Zusatz von Sauerstoffgas die Schmelzkraft vermehren, die ihren höchsten Grad erreicht, wenn die das Knallgas bildende richtige Mengung vorhanden ist. Die Hitze dieses Gebläses übersteigt alle Vorstellung und würde sich ins Unglaubliche steigern lassen, wenn es möglich wäre, grössere Flammen anzuwenden. Alle Metalle verbrennen darin mit heftigem Funkensprühen, Graphit wird verflüchtigt, kleine Stücke Quarz schmelzen zu einer Perle, und es gelingt zuweilen sogar, kleine Stücke Kalkspath zu schmelzen. Man hat dieses Gebläse bereits zu technischen Zwecken angewandt.

61) Eine Hauptbedingung des leichteren oder schwereren Verbrennens liegt in der grösseren oder geringeren Verwandtschaft der verbrennlichen Substanzen zum Sauerstoff. Wenn wir hiernach einige der sich am meisten unterscheidenden Körper ordnen, so lassen sich füglich die leichten Metalle, z. B. das Kalium, Natrium u. s. w., voranstellen; denn wirft man ein Stück derselben auf Wasser, so zerlegen sie dieses augenblicklich und verbrennen im Sauerstoff desselben mit einer lebhaften Flamme. Die leichte Verbrennlichkeit des Phosphors ist bekannt, und man benutzt ihn daher, ausser den Zündhölzchen (§. 53) zu mancherlei Arten Feuerzeuge, die jetzt ausser Gebrauch gekommen sind. Ein dünnes Scheibchen Phosphor, auf Baumwolle liegend, schmilzt in mittlerer Temperatur und entzündet sich, wenn man es mit einer Holzspitze aus einander zieht; mit einer massiven Stange Phosphor kann man aber ohne Gefahr die Haut reiben. Die grosse Verwandtschaft des Wasserstoffgases und aller viel Wasserstoff enthaltender Körper zum Sauerstoff ist bereits vielfach erwähnt, und ebenso genügt es, Schwefel

und Kohle nur namhaft zu machen, doch dürfen diese nicht zu compact sein, denn ein massives Stück Schwefel verbrennt nicht selbst, und ebenso wenig Graphit, Anthracit und Diamant. Ueberhaupt erfolgt das Verbrennen ausnehmend leicht, wenn dem zutretenden Sauerstoffgas ausgedehntere Flächen dargeboten werden. Dieses zeigt sich beim Verbrennen der Schwefelfäden und der Schwefelbänder der Küfer, der Pechfackeln, des lockeren und zusammengelegten Papiers, Leimens u. s. w., auch gab *Alström er* deswegen den Lampendochten die bandförmige Gestalt und *d'Argand* die noch vortheilhaftere eines hohlen Cylinders, um dem Sauerstoffgas der Luft einen leichteren Zutritt zum verbrennenden Fette zu verschaffen. Einige Metalle haben eine so starke Verwandtschaft zum Sauerstoff, dass sie nur mit Mühe oder gar nicht davon getrennt werden können; von den regulinisch oder rein dargestellten verbrennen einige, z. B. Wismuth, Zink, Antimon, Eisen u. s. w., leicht, andere, als Gold, Silber und Platin, nur sehr schwer, letzteres insofern eigentlich gar nicht, als sich der Sauerstoff von ihm durch Hitze, wie auch von den beiden anderen, leicht wieder trennt. Wegen dieser Eigenschaft ihres leichten Zurücktretens in den regulinischen Zustand wurden sie von den alten Chemikern edle Metalle genannt.

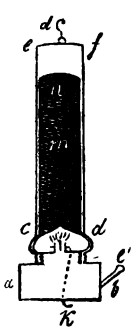
62) Eine Hauptbedingung, so wie aller chemischen Verbindungen, auch des Brennens, ist die Temperatur, insofern sie dieses, d. h. die Verbindung des Sauerstoffs mit den verbrennlichen Körpern im Allgemeinen, zugleich aber in ungleichem Grade befördert. Erhitzte Metalle laufen an, z. B. Stahl, erst gelb, dann bläulich, demnächst violett und dunkelblau, weil sich das Sauerstoffgas der Luft mit der äussersten Oberfläche verbindet und eine sehr dünne farbige Schicht bildet. Vorzugsweise zeigt sich dieses beim Eisen, denn wenn dieses zum Weissglühen gebracht ist, so bleibt es in diesem Zustande und verbrennt im eigentlichen Sinne, wenn man einen nur kalten Luftstrom dagegen bläst, oder es schnell in der Luft umherschwingt. Das Schmiedeeisen schmilzt bekanntlich im Feuer der Esse nicht, wohl aber verbrennt es; die abgeschlagene Oberfläche bleibt brennend, und bildet den

Hammerschlag, d. h. Eisen mit Sauerstoff verbunden. Hierauf beruhet auch das Feuerschlagen (§. 41). Am auffallendsten zeigt sich der Einfluss der Wärme auf die Verwandtschaft dieses Metalles zum Sauerstoff bei folgendem Processe. Wenn man Kalium mit Wasser verbindet, so wird lezteres sofort zerlegt, indem das Kalium, oder die metallische Grundlage des Kali, den Sauerstoff desselben aufnimmt, und damit verbrennt. Eisen thut dieses nicht, und bei niederen Temperaturen ist daher die Verwandtschaft des Kalium zum Sauerstoff grösser, als die des Eisens; bringt man aber Kali, also das mit Sauerstoff verbundene Kalium-Metall, mit Eisen in geeigneten Apparaten zur Weissglühhitze, so verbindet sich das Eisen mit dem Sauerstoff des Kali, oxydirt sich damit, und das Kali wird in metallisches Kalium verwandelt. Ein ähnlicher Einfluss der Wärme auf das Verbrennen zeigt sich auch anderweitig vielfach. Oel, Fett, Pech u. s. w. brennen nicht, wenn man ihnen eine Flamme nähert, wohl aber geschieht dieses, wenn sie sehr heiss sind, weswegen das Kochen des Oels bei der Firnissbereitung mit Vorsicht geschehen muss. Legt man eine einzelne oder wenige glühende Kohlen auf einen Stein oder in eine kalte Kohlenpfanne, so erlöschen sie, gerathen aber in heftigstes Glühen und bleiben darin bis zu ihrer gänzlichen Verzehrung, wenn sie in grösserer Menge vorhanden das einschliessende Gefäss genügend erwärmt haben. Selbst der im Brennpunkte grosser Brennlinsen zum Weissglühen gebrachte Diamant brennt für sich weiter. Hierauf beruht der in jüngster Zeit aufgefundene Vortheil der Anwendung heisser Luft bei Schmelzöfen, denn diese entzieht den bereits glühenden Körpern nicht so viel Wärme, als die kalte, und man erspart Kohlen, selbst wenn man einen Theil derselben zum Erhitzen der Luft verwenden müsste, ohne dieses durch die schon vorhandene Hitze des Ofens zu erreichen.

63) Wenn wir nur die allgemein bekannten Erscheinungen etwas näher betrachten, so finden wir, dass der eben besprochene Einfluss der Temperatur auf das Verbrennen vom vielfachsten und wichtigsten Einflusse ist. An vielen Orten auf dem Lande herrscht die Gewohnheit, des Abends die auf dem Heerde zurück-

gebliebenen Kohlen und Asche zusammenzukehren und mit einem alten Topfe zu bedecken, um am andern Morgen sofort Feuer zu haben; denn die noch glimmenden Kohlen erlöschen nicht unter der Asche, weil zu wenig Sauerstoffgas durch die Asche dringt, als dass sie eigentlich verbrennen könnten, und die schlecht leitende (§. 106) Asche ihnen nicht genug Wärme entzieht, um zu erlöschen. Bindet man um ein mit Wasser gefülltes Medicinglas einen leinenen Faden straff angezogen, so wird dieser mehrere Minuten in eine Kerzenflamme gehalten äusserlich schwarz, verbrennt aber nicht, weil das berührende Glas die Wärme entzieht und das Glühen verhindert. Selbst ein Stück Papier, über eine Kerzenflamme gehalten, widersteht durch anhaltendes Blasen mit dem Munde lange der Entzündung, noch mehr aber, wenn über ihm Wasser steht, welches auf diese Weise allenfalls zum Sieden gebracht werden kann. Dass übrigens Wasser in papiernen Gefässen nicht eigentlich siedet, kommt von der schlechten Durchleitung der Wärme durch diese Substanz.

64) Auf das Gesetz, dass selbst das Knallgas sich nicht entzündet, wenn eine abkühlende Hülle die Erzeugung der Glühhitze hindert, gründete *Davy* seine gegen die schlagenden Wetter (§. 48) schützenden Sicherheitslampen. Sie bestehen aus einer Oellampe *a b*, welche durch eine mit dem Stöpsel *e* verschlossene Röhre mit Oel gefüllt wird, unten mit einem gehörig gekrümmten, durch den Oelbehälter gesteckten und zum Heben des Dochtes dienenden Drahte *k* versehen ist, und deren Flamme innerhalb des hohlen cylindrischen, aus feinem Eisendraht verfertigten Geflechtes *m n* brennt. Weil die Flamme vorzugsweise den Deckel des feinen Geflechtes trifft, und dieser daher zerstört werden könnte, so wird über den ersten Cylinder noch ein zweiter geschoben, um nach etwaiger Zerstörung des Deckels *m* durch einen zweiten *n* den gehörigen Schutz zu erhalten. Die Dicke des Eisendrahts, welcher durch den Kohlendunst in den Bergwerken sich mit einer Art Firniss bedeckt, und



dadurch gegen Rost geschützt wird, beträgt etwa $^2/_{100}$ eines englischen Zolls, und enthält ungefähr 750 Maschen auf einen Quadratzoll. Die aufgeschraubten Drahtcylinder sind meistens mit einem Schlosse versehen, wozu der Wärter zum Behuf des Reinigens den Schlüssel hat, damit nicht die, gegen die gewohnten Gefahren dreist gemachten Bergleute die Lampen öffnen, um ihre Pfeifen anzuzünden. Weil das Drahtgeflecht dunkelt, so haben einige einen kleinen reflectirenden Spiegel im Innern, andere eine Glaslinse im Geflechte angebracht; sonstige Vorschläge zu Verbesserungen mögen hier aber übergangen werden. Wenn sich das in den inneren Raum eingedrungene explodirende Gas entzündet, so entsteht hierdurch eine helle Flamme, doch dringt diese nicht im Zustande des Glühens durch das abkühlende Drahtgeflecht, sondern erlischt sammt der Lampenflamme, und weil dann plötzliche Finsterniss eintritt, so hat man auf dem Dochte ein Platinlöckchen (§. 38) angebracht, welches durch Aufnahme des Oeldampfes noch so lange glühend bleibt, bis der Bergmann den Ausgang aus der Grube gefunden hat. Nach Versuchen, die nicht ohne grosse Gefahr angestellt wurden, verhindern die Lampen sogar die Entzündung des Schiesspulverstaubes, denn obgleich der Theil, welcher sich auf dem unteren Deckel des Geflechtes angehäuft hatte, explodirte, so drang die Flamme dennoch nicht durch den oberen Deckel, vielmehr wurde der daselbst liegende Theil, ohne sich zu entzünden, fortgeschleudert. Der Erfahrung nach sichern die Geflechte gegen die Entzündung aller verbrennlichen Körper, ausser die des Phosphors, welche schon durch eine Hitze von 30^0 erfolgt.

65) Auf der Unmöglichkeit des Brennens bei gehöriger Abkühlung beruhet dann auch das Feuerlöschen, und es wird nicht schwierig seyn, alles, was zu dieser wichtigen Aufgabe gehört, aus physikalischen Principien abzuleiten. Häufig hat man bemerkt, dass während grosser Feuersbrünste Wind entstand oder der vorhandene verstärkt wurde. Dieses liegt in der Natur der Sache; denn die erhitzte Luft steigt auf, und die kältere dringt von aussen in den erzeugten Raum. Beim Verbrennen grosser

aufgehäufter Holzmassen in den amerikanischen Urwäldern entstand etliche Male ein solcher eigentlicher Orkan, dass unter furchtbarem Getöse Reisigbündel und selbst Bäume aufgehoben und weit fortgetragen wurden. Dass ohne Anwesenheit des Sauerstoffgases kein Verbrennen möglich sey, man daher brennende Gegenstände durch Einhüllen oder Bedecken selbst mit brennbaren Substanzen auslöschen könne, wohin auch das jüngsthin vorgeschlagene Strohhexel gehört, wenn nur solches am geeigneten Orte in genügender Menge vorhanden wäre, um die brennenden Gegenstände damit vollständig zu bedecken, folgt hieraus von selbst, und manche Unglücksfälle wären sicher verhütet worden, wenn die betheiligten Personen dieses rechtzeitig überlegt hätten. Eine Dame, deren nach damaliger Sitte hoch aufgethürmter Kopfputz von der Lichtflamme ergriffen war, entging der schrecklichsten Gefahr dadurch, dass sie den Kopf in ein Bettkissen hüllte; bei brennenden Kleidern aber dürfte nichts rathsamer und prompter zur Hand seyn, als das Wälzen auf der Erde und Einhüllen in eine Decke. Hierher gehört denn auch das oben (§. 57 und 58) Gesagte.

66) Das beste und auschliesslich überall brauchbarste Feuerlöschungsmittel ist Wasser; denn die sonstigen vorgeschlagenen Mischungen, als Seifensiederlauge, aufgelöstes Seesalz u. s. w., haben zwar den Nutzen, dass sie die Oberfläche der Körper mit einer die Entzündung hindernden dünnen Kruste überziehen, allein diese widersteht bei grosser Hitze nicht, die Substanzen sind nicht am erforderlichen Orte in gehöriger Menge vorhanden, und machen ausserdem die Ventile der Spritzen unbrauchbar. Die löschende Kraft des Wassers beruht bloss auf der dadurch erzeugten Abkühlung, die aber ausnehmend gross ist, weil das Wasser, indem es in Dampf verwandelt wird, etwa 512^0 Wärme, vom Gefrierpuncte an gerechnet, verschluckt (§. 126). Wenn oft behauptet wird, weniges und fein vertheiltes Wasser befördere das Brennen, so ist dieses insofern zwar unmöglich, als das aus Sauerstoff und Wasserstoff bestehende Wasser (§. 43, 60) für einen schon verbrannten, und daher nicht nochmals verbrennli-

chen Körper gelten kann; von der andern Seite aber ist die Behauptung nicht ohne allen Grund. Ist nämlich die Masse der glühenden Kohlen und ihre Hitze sehr gross, so hindert die über ihnen ruhende Kohlensäure das weitere Verbrennen; das in nicht grosser Menge hinzukommende Wasser dagegen kann durch die übergrosse Hitze zerlegt werden, indem die Kohlen den Sauerstoff aufnehmen, das leichter aufsteigende Wasserstoffgas aber mit dem in Folge dieses Aufsteigens leichter herbeiströmenden Sauerstoffgase der Luft wieder verbrennt. Hierbei fehlt also gerade die wesentliche Bedingung des Löschens, nämlich die zur Verdampfung des Wassers erforderliche Wärmeentziehung, indem vielmehr die durch grosse Hitze gesteigerte Verwandtschaft der glühenden Kohlen zum Sauerstoff des Wassers eine sofortige Zersetzung des letzteren bewirkt. Etwas Aehnliches zeigt sich bei dem Verbrennen der Steinkohlen, welche in sehr nassem Zustande gebrannt werden, doch ist hierbei der Process zusammengesetzter. Enthalten nämlich die Steinkohlen einen Antheil Schwefel, so verbindet sich die daraus gebildete schweflige Säure mit den Wasserdämpfen, und entweicht leichter. Ausserdem aber werden die zerfallenen Kohlen durch das Wasser mehr zusammengehalten, und beim allmäligen Verbrennen mit starkem Glühen des Kohlenstoffes tritt der eben beschriebene Process ein. Soll sich daher das Wasser als Feuerlöschungsmittel bewähren, so muss dasselbe in den Umständen angemessener genügender Menge vorhanden seyn. Manche mit helllodernder Flamme verbrennende, hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehende Körper, als Stroh, Heu u. s. w., haben verhältnissmässig weniger Masse, und sind daher mit wenigem, rechtzeitig vorhandenem Wasser leichter löschbar, als man bei der helllodernden Flamme voraussetzt, ist aber das Holz tief oder gänzlich in glühende Kohlen verwandelt, dann wird eine grosse Menge Wasser erfordert; denn nach Versuchen bedarf eine vollständig weissglühende Kohle ein volles Fünftel ihres Gewichts an Wasser, um gänzlich ausgelöscht zu werden. Das Vorurtheil endlich, als sey das durch Blitzschläge entstandene Feuer schwerer zu löschen, als gewöhnliches, ist durchaus nichtig, denn

der Process des Brennens ist stets der nämliche, die veranlassende Ursache sey, welche sie wolle; jedoch richten zündende Blitzschläge leicht solche Zerstörungen an, die der Luft zugleich freien Zutritt eröffnen, und werden durch diesen Umstand gefährlicher.

67) Ehe wir die Untersuchungen über das Verbrennen schliessen, müssen wir zuvor noch zwei Aufgaben erledigen, zuerst über die Stärke und Beschaffenheit des dadurch gegebenen Lichtes, und zweitens der dadurch erzeugten Hitze. In Beziehung auf das Erste ist schon angegeben worden, dass das eigentliche Brennen, in der zuletzt angenommenen engeren Bedeutung des Wortes, allezeit mit einem Leuchten verbunden sey, allein mit einem sehr ungleichen, vom geringsten, bei Tage kaum sichtbaren, wie das des brennenden Schwefels und reinen Wasserstoffgases, bis zu dem die Augen angreifenden des in Sauerstoffgas verbrennenden Phosphors, und der im Knallgas verbrennenden Metalle. Im Allgemeinen ist das Leuchten eine Folge des Glühens, welches vom dunkelsten Rothglühen bis zum stärksten Weissglühen gesteigert werden kann. Näher betrachtet muss unterschieden werden, dass einige Körper ohne Flamme verbrennen, als völlig glühende Kohlen, Eisen, *Davy's* flammenlose Lampen (§. 38) u. s. w., andere dagegen mit Flamme, als Holz, Unschlitt, Zink, Wismuth u. s. w. Jede Flamme besteht aus gasförmigen aufsteigenden Stoffen, in denen feine, zum stärkeren oder schwächeren Glühen gebrachte Theilchen enthalten sind, und die Helligkeit, oder was man nennt die Weisse und Leuchtkraft der Flammen sind um so stärker, je mehr dieser Theilchen, und je stärker sie weissglühen. Abstrahiren wir von der Flamme des Schwefels, des Phosphors und der Metalle, in denen die aufsteigenden Theilchen dieser Körper glühen, so bestehen die Flammen des Holzes, der Harze und hauptsächlich diejenigen, welche, zum Erleuchten bestimmt, unsere Aufmerksamkeit vorzugsweise verdienen, sämmtlich aus aufsteigendem Wasserstoffgas mit Kohlenstoff, welcher letztere denn, je nach seiner Menge und seinem vollständigen Verbrennen mit Weissglühhitze, die Leuchtkraft der Flamme bedingt. Man könnte den Satz

kurz so ausdrücken: die gewöhnlichen Flammen bestehen aus brennendem Rauche, letzterer aber dem Wesen nach aus Kohle enthaltendem Wasserstoffgas. Wird ein Bogen Papier der Länge nach zu einem hohlen Cylinder aufgerollt, dieser oben bedeckt und mit einem etwa 2 Linien weiten Loche versehen, dann unten angezündet, so entweicht der Rauch aus dem Loche und brennt angezündet mit Flamme. Löscht man eine Kerze mit etwas längerem verkohlten Dochte aus, und nähert man den dann aufsteigenden Rauch einer Flamme, so entzündet er sich, die Flamme fährt an ihm herab und theilt sich dem noch glimmenden Dochte mit. Hier möge auch eine zwar bekannte, aber zugleich interessante Erscheinung erklärt werden. Eine Kerzenflamme lässt sich durch Blasen mit dem Munde auslöschen, und der etwas lange verkohlte Docht dann sofort durch Blasen wieder entzünden; das Erste in Folge der Abkühlung, die das Brennen durch Fortstossen des Rauches aufhebt, das Zweite durch Zuführung frischer, sauerstoffgashaltiger Luft, die das Brennen wieder hervorruft.

68) Die aufgestellten allgemeinen Sätze lassen sich an den gewöhnlichen Flammen, namentlich den zum Erleuchten bestimmten, leicht näher nachweisen. Die Flamme des reinen Wasserstoffgases, selbst des aus Zink bereiteten, welches etwas von diesem Metalle und des aus Eisen bereiteten, welches wie das aus dem Schlamme stehender Wasser aufgefangene (Sumpfluft) etwas Kohlenstoff enthält, geben eine bläuliche, so wenig leuchtende Flamme, dass man bei einer solchen, gegen 9 Zoll langen, im Dunkeln gewöhnliche Druckschrift nur dann lesen kann, wenn man sie auf etwa 1 bis 2 Zoll nähert. Auch die wenig Kohlenstoff haltende Flamme des Weingeistes erhellet nicht sehr, enthält ausserdem wenig rothes Licht, und wenn sie an einem in Kochsalzwasser getränkten, nachher wieder getrockneten Dochte brennt, oder man einige Salzkörner auf den Docht einer Weingeistlampe legt, so enthält sie blos gelbes Licht, und die Menschen erhalten ein leichenartiges Aussehen, weil alles Roth in ihrer Farbe fehlt. Es sind dieses die von *Brewster* erfundenen monochromatischen (von den griechischen Worten *Monos*, einzig, und *Chroma*, Farbe, eine einzige Farbe gebenden) Lampen. Eine grössere

Menge Kohlenstoff, welcher dann im Zustande des Weissglühens verbrennt, erhöhet die Leuchtkraft und Weisse der Flamme, und beide Eigenschaften zeigen sich am stärksten beim Verbrennen des aus Fetten bereiteten Leuchtgases, und den sogenannten kleinen Gaslämpchen, die man erhält, wenn man ein enges gläsernes oder metallenes Röhrchen in gereinigtes Brennöl senkt und an der hervorragenden Spitze anzündet. Leider verstopfen sich diese Röhrchen, was diese als Nachtlichter sehr zweckmässigen Apparate auf die Dauer unbrauchbar macht, weil es zu viel Mühe erfordert, die erhärtete Kohle, auch wenn sie durch Schwefelsäure locker gemacht ist, wegzuschaffen. Bei gewöhnlichen Oel- und Kerzenflammen kommt nicht aller Kohlenstoff zum Weissglühen, und sie sind dann um so röthlicher und dunkler, je weniger dieses der Fall ist. Diesem Uebelstande wird durch *Alströmer's* und *Argand's* Dochte (§. 61) abgeholfen, noch mehr aber durch die Einrichtung der sogenannten Liverpool-Lampen, bei denen die Flamme um eine horizontale Metallscheibe durch einen starken inneren und äusseren Luftzug, den der gläserne Schornstein noch bedeutend vermehrt, tulpenartig gebogen wird, noch mehr aber durch die neuerdings von *Benkler* und andern verfertigten Lampen, bei denen die bei starkem Luftzuge im unten verengten gläsernen Schornsteine concentrirten Flammen zum heftigsten Glühen gebracht werden. Es können darin auch schlechtere Oelarten verbrannt werden, auch geben sie bei gleichen Mengen Oel eine grössere Menge Licht, und zwar gerade so viel, als sonst im unverbrannt verflüchtigten Kohlenstoff verloren wird; man muss indess nicht glauben, dass sie überhaupt wenig Oel verzehren, denn zur Erzeugung von vielem Lichte ist auch eine verhältnissmässige Quantität weissglühenden Kohlenstoffs erforderlich, und diese muss aus dem Oele genommen werden. Dagegen liegt unverkennbar eine Ersparniss darin, wenn der gesammte vorhandene Kohlenstoff vollständig weissglühet, statt bloss roth glühend oder noch dunkel verflüchtigt zu werden; und hierin liegt der Grund, warum es möglich ist, dass es noch Vortheil gewährt, Oele und Fette, statt sie direct mittelst eines Dochtes zu verbrennen, zuvor durch kostspielige Vorrichtun-

gen in Gas zu verwandeln und so zum Leuchten zu verwenden. grössere Intensität des Gaslichtes aus Fetten und Steinkohlen ber zugleich auf dem Umstande, dass in dem Gase Wasserstoffgas Kohlenstoff in genauer Mengung vorhanden sind, und im Allge nen leuchten die verschiedenen Gase um so viel stärker, je 1 Kohlenstoff in ihnen enthalten ist, wodurch sie zugleich speci schwerer werden, indem die besseren specifisch schwerer als atmosphärische Luft, die schlechteren dagegen sogar zum F der Luftballons dienen können. Wird ein Theil Kohlenstoff, ohi glühen und ohne hierdurch in Kohlensäure verwandelt zu werde der Flamme mechanisch fortgerissen, so erhält diese dadurcl dunkleres Ansehen, und der Kohlenstoff legt sich an die Ki als sogenannter Lichtschwalch an. Es wird daher viel Oel nütz vergeudet, wenn der Lampendocht so lang und dick ist, die Flamme in eine schwarze Spitze endigt, oder schwalcht, sparsame Hausfrauen auch der Reinlichkeit der Zimmer w nicht dulden dürfen. Ist die Quantität des verflüchtigten Kol stoffs sehr gross, z. B. beim Verbrennen des Kienholzes, so er niedergeschlagen und als Kienruss benutzt werden. Der gewöhnlich verbrennendem Holze aufsteigende Kohlenstoff ei zugleich Wasserdampf, Essigsäure und brenzliches Oel, dient gen des darin befindlichen Kreosots zum Räuchern des Fleis und setzt sich meistens als Glanzruss an, der sich wieder zünden lässt, bis aller Kohlenstoff verbrannt ist.

69) Die meisten der hier aufgestellten Sätze lassen sic einer gewöhnlichen Kerzenflamme nachweisen. Sie entsteht dad dass das geschmolzene Fett vermöge der Haarröhrchenanzie im lockeren Dochte aufsteigt, durch die Hitze der Flamme flüchtigt, sich als Rauch erhebt, und dieser durch den Zutritt Sauerstoffgases der atmosphärischen Luft verbrennt. Von beiden Bestandtheilen des gebildeten Rauches nimmt das Wa stoffgas das Sauerstoffgas am begierigsten auf, verbrennt d und hierdurch kommt der Kohlenstoff zum Glühen. Betra man eine Kerzenflamme in einem Spiegel, so sieht man sie einer dünnen, nur wenig leuchtenden, Hülle umgeben, die

dem mehr nach aussen dringenden verbrennenden Wasserstoffgase besteht, und die eigentlich in Folge des glühenden Kohlenstoffs leuchtende Flamme einschliesst. In dieser erhält sich der verkohlte Docht im Zustande des Rothglühens, ohne zu verbrennen, weil das Sauerstoffgas nicht so tief eindringt; doch erfolgt das Verbrennen, wenn man die Kerze so neigt, dass das Ende des Dochtes aus der Flamme herausragt. Auf gleiche Weise kann man ein Stück Phosphor in einem kleinen Platinlöffel mitten in eine dicke Weingeistflamme bringen, in welcher er zwar schmilzt, aber nur in so weit verbrennt, als er verflüchtigt wird, und auf allen Fall langsamer, als in freier Luft. Am unteren Ende ist die Kerzenflamme bläulich, etwas höher wird sie roth, und erreicht von der Mitte an die grösste Weisse und Leuchtkraft. Wird das Glühen des Kohlenstoffs durch einen kalten Körper gehindert, so schlägt er sich an diesem schwarz nieder; hält man in die Flamme einer Kerze einen dünnen Platindraht, so wird auch dieser von schwarzem Kohlenstoff (Russ) überzogen, welcher aber an dem aus der Flamme herausragenden Ende des Drahtes durch Glühen verzehrt wird und den Draht blank zurücklässt.

70) Die Untersuchung der gefärbten Flammen würde zu tief in das Gebiet der Technik führen, und es mögen daher hier nur einige der interessantesten Thatsachen genügen. Zu den farbigen Flammen gehört die der bereits (§. 68) genannten monochromatischen Lampen. Legt man ferner auf den Docht der Weingeistlampe statt des Kochsalzes ein Stück Strontiansalz oder Barytsalz, so erhält man eine rothe Flamme von grösserer Lichtstärke. Weingeist, worin salzsaurer Kalk, Baryt oder Strontian aufgelöst ist, giebt eine schöne dunkelrothe Farbe, eben wie verbrennender salpetersaurer Strontian, dessen man sich nach *Herschel* zum Rothfeuer in den Theatern bedient. Ein Pulver aus 2 Theilen gebranntem Kupfervitriol, 2 Theilen weissem Pech und 1 Theile Salmiak giebt auf Kohlen gestreut oder an einen Kerzendocht gebracht, eine schöne dunkelblaue Flamme; 2 Theile Grünspan, 1 Theil Salmiak und 2 Theile Pech dagegen eine grüne, welche auch erhalten wird, wenn man Weingeist, worin

salpetersaures Kupfer aufgelöst ist, anzündet. Das indische Weissfeuer, welches wegen seines hellen Glanzes namentlich bei Gradmessungen zu nächtlichen Signalen verwandt wird, besteht aus 24 Theilen Salpeter, 7 Theilen Schwefel und 2 Theilen rothem Arsenik. Diese fein gepulverten und gut gemengten Substanzen befinden sich in runden, 6 Zoll weiten und 3 Zoll hohen Schachteln mit einem Loche in der Mitte des Deckels, welches indess nebst der ganzen Schachtel zur Verhütung des Zerstreuens mit Papier überklebt ist. Beim Gebrauche öffnet man das Loch, durchschneidet den Deckel rund um, damit er leicht fortfliege, und entzündet durch das Loch mittelst einer Zündruthe, welche an einem Stocke befestigt die Masse des Weissfeuers leicht und schnell in Brand setzt. Die Zündruthen selbst bestehen aus 4 Theilen gereinigtem Salpeter, 2 Theilen Schiesspulver, 2 Theilen Kohlen und 2 Theilen Schwefel, alles fein gepulvert, durch ein Haarsieb gebeutelt und fest in Patronen aus Papier von Federkieldicke gestampft, die verklebt sind, und daher mit einer Scheere abgeschnitten und mit einer Kohle oder Lunte entzündet werden. Das Verbrennen einer Schachtel dauert etwa 3 Minuten, und das intensive Licht ist bei Nacht unter geeigneten Umständen bis auf mehr als neun Meilen sichtbar.

71) Die zweite Aufgabe, nämlich die Bestimmung der durch verbrennende Körper erzeugten Hitze, ist von nicht minderer Wichtigkeit. Zuvörderst darf nicht übersehen werden, dass bei der Bestimmung der Wirkung der Hitze die Beschaffenheit und insbesondere die Grösse der Körper, auf welche sie wirkt, von sehr grossem Einfluss ist, der Grad der Hitze aber im Allgemeinen aus der Stärke des Glühens geschlossen werden kann. Handelt es sich um feste Körper, so dürfen folgende Bestimmungen der Temperaturen des verschiedenen Glühens wohl als hinlänglich genau gelten:

Anfangendes Roth . . .	420°	Dunkel Orange . .	880°
Dunkelroth	560°	Hell Orange . . .	960°
Erstes Kirschroth . . .	640°	Weiss	1040°

tark Kirschroth . . . 720° Hell Weiss . . . . 1120°
ell Kirschroth . . . 800° Blendend Weiss . . 1200°

Bei gasförmigen Körpern findet indess die Regel, dass die erugte Hitze sich aus dem helleren Glühen, oder der Stärke des rtbundenen Lichtes, bemessen lasse, keine Anwendung, denn die lamme des verbrennenden Phosphors ist sehr hell, giebt aber ine diesem angemessene Hitze; gleiche Mengen verbrannten uchtgases geben gleiche Wärmemengen, aber ungleiche Lichtengen; die Luft kann so weit erhitzt werden, dass ein hineinhaltener Draht weiss glühet, ohne dass sie selbst sichtbar ist, d die kleine Flamme des Knallgasgebläses (§. 60) ist bläulich t schwachem Gelb und am Tage kaum leuchtend, macht aber e hineingehaltenen Körper bis zu einer den Augen unerträglichen elligkeit glühend.

72) Ein verbrennender Körper vermag dem in ihm befindlichen he seiner eigenen gleiche Wärme mitzutheilen, wenn letzterer n hinlänglich geringer Masse ist, und die ihm zugeführte Hitze ht zu sehr ableitet. Indem daher der Kohlenstoff in einer geinen Kerzenflamme weissglühet, so theilt die letztere auch sehr nen Körpern den nämlichen Hitzegrad mit, und man kann daher ihr dünne Glasfäden und feinsten Eisendraht schmelzen. Um ses zu zeigen, darf man nur das Ende einer Klaviersaite Nr. 12 was aufrecht in eine Lichtflamme halten, und, wenn es glühet, rückziehen, indem es dann mit Funkensprühen verbrennt, welches jedoch nicht erfolgt, sobald an dasselbe ein kleines Knöpfchen geschmolzen ist, weil hierdurch die Masse schon zu gross rd.

73) In ökonomischer und technischer Hinsicht ist es von grösster ichtigkeit, die verhältnissmässige und absolute Menge der Wärme zu nnen, welche durch das Verbrennen der verschiedenen Brennmarialien erzeugt wird. Die Messung geschieht auf die Weise, dass n das Brennmaterial gehörig verbrennt, und die dadurch erzeugte ze dem Wasser im Calorimeter zuführt, um zu ermitteln, wie viel ren in Dampf verwandelt, oder um wie viele Grade dessen Wärme durch vermehrt wird (§. 121). Die auf diese Weise gefundenen

Bestimmungen können jedoch nur als ungefähre gelten, weil beim gewöhnlichen Verbrennen die Bedingungen selten oder nie so günstig sind, als sie bei den Versuchen hergestellt werden. Beim Holze und dem Torf kommt zugleich der Zustand der Trockenheit sehr in Betrachtung, denn die vorhandene Nässe verzehrt eine grosse Menge Wärme zu ihrer Verdampfung, und ausserdem hängt viel davon ab, ob das gegebene Material vollständig verbrennt, oder ein bedeutender Theil desselben als Rauch aufsteigt und sich als Russ ansetzt, welcher verbrannt noch eine beträchtliche Menge Wärme geben würde (§. 68). Nehmen wir aus den Resultaten, die durch zahlreiche Versuche mit dem angegebenen Wassercalorimeter oder dem Brennkraftmesser erhalten sind, eine möglichst richtige mittlere Bestimmung, so dürfte diese seyn, dass durch 1 Pfund gutes luftrockenes Buchenholz 3 Pfund Wasser verdampft, oder da zur Bildung des Wasserdampfes aus Wasser von 0^0 Wärme 512^0 Wärme erforderlich sind (§. 126), $3 \times 512 = 1536$ Pfund Wasser um 1^0 erwärmt werden. Wird dieses Brennmaterial mit andern verglichen, so verdampft 1 Pfund gute Steinkohlen 6 Pfund Wasser; 1 Pfund schlechte 4 Pfund Wasser; 1 Pfund Eichenholz $2^1/_4$ Pfund Wasser; 1 Pfund Torf $1^1/_2$ Pfund Wasser. Alle diese Bestimmungen können jedoch wegen der vielfachen bedingenden Umstände nur als ungefähre gelten. Wegen der Wichtigkeit der Sache mögen indess noch folgende Vergleichungen, die durch die verschiedenen Gelehrten aufgefunden worden sind, hier aufgenommen werden, wobei zu bemerken, dass die durch die verschiedenen Brennstoffe erzeugten Wärmen durch Zahlen ausgedrückt sind, die keinen absoluten Werth haben, sondern nur zur Vergleichung unter einander dienen sollen. Gleiche Gewichte des genannten Brennmaterials erzeugen die nebenstehenden Wärmemengen:

Holz, ganz trocken . . .	3500	Rapsöl, gereinigt	9300
Holz, lufttrocken	2600	Schwefeläther	8030
Holzkohlen	7300	Spiritus	5261
Steinkohlen, gemeine . . .	6000	Unschlitt	8639
Coaks	6500	Wachs, weisses	9479

Torf, guter	3000	Phosphor	7500
Torf-Coaks	6400	Terpenthinöl	4500
Olivenöl	9044	Schwefel	1462
Wasserstoffgas	23,500	Steinöl	9475

Zu besserem Verständniss dieser Tabelle möge noch Folgendes bemerkt werden. Aus der grossen Wärmeproduction der Holzkohlen könnte man folgern, es sey vortheilhafter, das Holz in Kohlen zu verwandeln, allein dieser Irrthum findet schon darin seine Widerlegung, dass beim gewöhnlichen Verbrennen des Holzes die anfangs erzeugte Flamme nothwendig Wärme geben muss, und die erzeugten Kohlen dann immer noch vorhanden sind. Wirklich hat auch *Rumford*, von dem die meisten der mitgetheilten Bestimmungen herrühren, durch Versuche aufgefunden, dass gutes lufttrockenes Holz etwa ein Drittel mehr Wärme giebt, als die daraus gewonnenen Kohlen, was daraus erklärbar wird, dass nicht bloss das Volumen der Kohlen, sondern hauptsächlich auch ihr Gewicht weit geringer ist, als das des dazu verwandten Holzes; die obigen Bestimmungen gelten aber von gleichen Gewichten. Eben dieses ist dann auch der Fall bei den Coaks in Vergleichung mit den sie erzeugenden Steinkohlen. Die Bereitung der Meilerkohlen und der Coaks ist daher nur in so fern räthlich und zuweilen nothwendig, als beide bei geringerer Masse eine intensivere Hitze geben und einen leichteren Transport gewähren. Nach Versuchen giebt ein gewöhnliches Unschlittlicht etwa 8 auf 1 Pfund so viel Wärme, dass 20 Cubikfuss Luft durch dessen Brennen um etwa 2^0 wärmer werden, woraus die Hitze in Zimmern, wo viele Lichter brennen, erklärlich wird*).

*) Es ist gut zu wissen, dass die hier angegebenen Bestimmungen durch die genauesten, oft wiederholten Versuche erhalten sind. Durch zweckmässige Vorrichtungen kann man daher aus einem gegebenen Brennmaterial eine grössere Menge Wärme erhalten, allein auf keinen Fall mehr, als dessen vollständiger Verbrennungsprocess zu geben vermag. Man wird dann nicht durch Angaben irre geführt, die auf keinen genauen Mass- und Zahlenbestimmungen beruhen, und sich ins Wunderbare verlaufen, wie die neuerdings von Wien aus bekannt gemachten.

74) Fragen wir endlich nach der Ursache der durch die verschiedenen, in diesem Abschnitte betrachteten, Processe erzeugten Wärme, so stossen wir auch hierbei auf unlösbare Räthsel, und gelangen dadurch abermals zu der Ueberzeugung, dass das eigentliche Wesen der Dinge bloss auf unserer Erde, diesem winzigen Theile der ganzen Schöpfung, uns noch immer verborgen ist. Bei den meisten Verbindungen entsteht allerdings eine Verdichtung, sofern die erzeugten Körper einen geringeren Raum einnehmen, als die sie bildenden Bestandtheile, und man könnte daher folgern, dass so viel Wärme frei werden müsse, als in diesem grösseren Raume enthalten war; allein hiergegen streiten einige Verbindungen, z. B. des Weingeistes mit Wasser, des gebrannten Kalkes mit Wasser, die sich ausdehnen, und dennoch Wärme frei machen. Manche zusammengesetzte Körper haben eine geringere eigenthümliche Wärme (§. 119) als die Bestandtheile, aus denen sie gebildet sind, und es müsste daher bei ihrer Vereinigung so viel Wärme frei werden, als dieser Unterschied beträgt; allein auch dieses genügt in einigen Fällen nicht, wie wir sogleich sehen werden. Beim gewöhnlichen Verbrennen wird Sauerstoffgas verzehrt, und es lag daher sehr nahe, die erzeugte Wärme von der Verdichtung dieses Gases abzuleiten. Sollte dieses in ganzer Strenge richtig seyn, so müsste allezeit eine der verzehrten Sauerstoffgasmenge angemessene Quantität Wärme entbunden werden. Obgleich ein solches Verhalten nicht genau stattfindet, so dürfte man doch immerhin annehmen, dass die brennbaren Substanzen, die das Sauerstoffgas aufnehmen, durch ihre Verdichtung die fehlende Menge Wärme hergäben, und es scheint dann wirklich, als liesse sich die ungeheure Hitze des Knallgasgebläses aus der starken Verdichtung des gemengten Sauerstoffgases und Wasserstoffgases einfach ableiten; allein gerade das Verbrennen dieses Gasgemenges, sowie aller explodirender Körper, stellt dieser Hypothese ein unüberwindliches Hinderniss entgegen. Wenn Knallgas verpufft, so wird Wasser gebildet, und wenn man die eigenthümliche Wärme beider Gase zusammennimmt und sie mit der des entstandenen Wassers (§. 123) vergleicht, so ist die

letztere so gross, dass 32° Wärmeverminderung entstehen müsste. Man könnte allerdings zu der Verdichtung der Gase seine Zuflucht nehmen, allein dieses stimmt nicht mit dem eigentlichen Verhalten der Sache überein. Im Augenblicke der Explosion des Gasgemenges wird nämlich Wasserdampf gebildet, welcher bei mittlerer Temperatur dünner, also ausgedehnter ist, als das Gasgemenge, und da hiernach in Folge der Ausdehnung Wärme verschwinden müsste, so entsteht vielmehr Glühhitze mit bedeutender gewaltsamer Ausdehnung. Eben dieses lässt sich anwenden auf die Explosion des Schiesspulvers (§. 49), und woher die plötzlich mit Ausdehnung verbundene Glühhitze der Knallsalze (§. 52—55) entstehe, ist gar nicht zu enträthseln. Will man an eine allerdings einfache Hypothese eine zweite reihen, so lässt sich annehmen, dass die Wärmeatmosphären, welche die festen Bestandtheile der Körper umgeben (§. 36), dann, wenn diese letzteren plötzlich eine neue Verbindung eingehen, momentan frei werden, sich wirksam zeigen, und in unmessbar kurzer Zeit sich mit dem neu gebildeten Körper wieder vereinigen. Hiermit wäre sehr gut vereinbar, dass namentlich beim Verpuffen des Knallgases nach momentanem Glühen durch Verbindung der Wärme mit dem entstandenen Wasser ein leerer Raum entsteht, in welchen die äussere Luft mit heftigem Knalle eindringt, welcher fehlt, wenn im Augenblicke der Explosion das Gefäss, worin die Verpuffung vorging, mit einem geeigneten Ventile oder Deckel verschlossen wird. Wie sehr diese Erklärung übrigens als angemessen erscheinen mag, so darf man doch nicht vergessen, dass sie bloss aus Hypothesen abgeleitet ist, und daher nur für hypothetisch gelten kann.

D. Durch den vegetabilischen und animalischen Lebensprocess.

75) Leblose Körper aus allen drei Reichen der Natur nehmen die Temperatur ihrer Umgebung an, oder, was einerlei ist, sie erhalten ihre Wärme bloss von Aussen, und geben sie wieder dahin ab, es sey denn, dass in ihnen eine Art Gährungsprocess, eine Trennung ihrer Bestandtheile und Wiedervereinigung zu

neuen Verbindungen, stattfinden sollte, was unter den eben abgehandelten Abschnitt gehören würde. Man kann daher sagen, dass sie, so lange sie ihren Zustand nicht ändern, weder Wärme erzeugen, noch bis zum gänzlichen Verschwinden binden. Anders verhalten sich dagegen lebende Wesen, sowohl die Pflanzen als insbesondere auch die Thiere. Lebende Pflanzen, sowohl grosse Bäume, als auch kleine Sträuche und Gewächse, weichen in ihrer Temperatur meistens sehr von der ihrer Umgebung ab, indem kühle Früchte sich über dem sehr erhitzten Boden und namentlich an sehr heissen Spalierwänden erhalten, anderseits aber im Winter die umgebende Kälte mildern, und unter dem Schnee sich kleine Höhlungen bilden. Hauptsächlich glaubte man durch Beobachtungen von Thermometern, die in das Innere grosser Bäume gesteckt waren, zu dem Resultate gelangt zu seyn, dass die Bäume, und somit auch kleinere Gewächse, in Folge ihres vegetabilischen Lebensprocesses im Winter Wärme zu erzeugen, im Sommer aber dieselbe zu binden vermöchten. Nach langem Streite gelangte man indess zu der Ueberzeugung, dass die Ungleichheit ihrer Temperatur bloss auf ihrer Verbindung mit der Erde beruhe, aus welcher die feinen Wurzelfasern im Winter die wärmere Feuchtigkeit, im Sommer aber die kühlere aufsaugen, oder überhaupt nur in der Kälte Wärme durch Zuleitung aufnehmen, in der Hitze aber durch Ableitung abgeben. Zum Theil ist hieraus erklärlich, dass in manchen Pflanzen der Saft nicht gefriert, obgleich die Kruste der Erde, worin sie stehen, durch Frost erstarrt ist; doch hat die Natur auch hierbei weislich gesorgt, indem die Pflanzensäfte im Herbst vor dem Eintritt der Kälte sich zurückziehen und verdicken, eben daher aber weniger leicht, als das Wasser, gefrieren, weswegen dann im Winter zwar die sehr saftreichen Pflanzen, nicht aber die festeren, zerstört werden. Uebrigens beruhet beiläufig das Erfrieren der Pflanzen nicht sowohl auf einer Entmischung ihrer Säfte und einer Zersprengung ihrer Gefässe durch die Ausdehnung des in ihnen gebildeten Eises, als vielmehr wo nicht stets, doch in den meisten Fällen, auf einer Zerstörung ihrer Lebenskraft, hauptsächlich in Folge wechseln-

der Aufregung derselben durch wiederkehrende Wärme und darauf folgende Erstarrung. Wiewohl aber den Pflanzen im Allgemeinen eine eigenthümliche Kraft der Erzeugung und Bindung der Wärme nicht beizulegen, die Abweichung ihrer Temperatur von der der Umgebung vielmehr aus ihrer Verbindung mit dem Boden und der hierdurch gegebenen Wärme - Zuleitung und Ableitung zu erklären ist, so findet doch in der äusseren zarten grünen Rinde zur Zeit ihrer Vegetation eine geringe, kaum merkliche, Wärmeentbindung statt, einige Blumen aber, namentlich die der Arum-Arten, entwickeln einige Stunden lang während ihres Aufblühens eine etwa bis 8^0 höchstens steigende Wärme, und zwar um so stärker, je energischer bei höherer äusserer Temperatur ihr Lebensprocess ist.

76) Alle lebende Thiere haben das Vermögen, Wärme zu erzeugen, einige aber in so geringem Masse, dass sie darin den Pflanzen bei deren stärkster Wärmeproduction nachstehen. Bei vielen Thierarten ist die Beantwortung der Frage, ob sie überhaupt Wärme frei machen, ausnehmend schwierig, theils wegen ihrer Kleinheit, theils weil sie wegen ihrer Feuchtigkeit Wasser verdampfen, und dadurch eine unter die ihrer Umgebung herabgehende Temperatur annehmen. Aus dieser Ursache ist die Wärmeproduction bei den Würmern und Weichthieren, den Crustaceen und Testaceen noch nicht nachgewiesen, bei den Amphibien, z. B. den Schildkröten, den Fröschen, sehr gering gefunden, bei den Reptilien, z. B. den Schlangen aber etwas grösser; bei den Fischen ist sie nach langem Streite durch die neuesten Untersuchungen ausser Zweifel gesetzt, und gehört dahin wohl auch die Erscheinung, dass man zuweilen Fische findet, die in einem der Form ihres Körpers angemessenen, mit Wasser gefüllten, Raume befindlich, vom Eise ganz umschlossen sind. Eine vorzügliche, schon dem *Aristoteles* bekannte, starke Wärmeentwickelung zeigt sich beim Thunnfische; wenn aber Narwal, Delphin und Wallfisch die Wärme der warmblütigen Thiere haben, so darf dieses nicht überraschen, da sie durch Lungen athmen, und in dieser Beziehung also nicht zu

den durch Kiemen athmenden Fischen gehören. Die Körpermasse einzelner Insecten ist meistens zu klein, als dass es leicht oder überhaupt möglich seyn sollte, ihre Wärmeproduction zu messen, dennoch ist das Vorhandenseyn dieses Vermögens nicht mehr zweifelhaft, wie man schon daraus entnehmen kann, dass in einem mit Bienen gefüllten und etliche Stunden verschlossenen Bienenkorbe eine das Leben der Thierchen gefährdende Hitze entsteht. Merkwürdig ist, dass man das Wärmeproductionsvermögen bei den Raupen stärker, als bei den Puppen und Schmetterlingen gefunden hat, was mit ihrem stärkeren Lebensprocesse bei schnellerem Wachsthume und übermässiger Fressbegierde in Verbindung steht und ihr Verhalten dem der warmblütigen Thiere näher bringt.

77) Bei warmblütigen, durch Lungen athmenden, Thiere ist die Wärmeproduction am stärksten, und sie erhalten sich hierdurch stets auf einer ihnen angemessenen bleibenden Temperatur, die durch äussere Einflüsse nur unbedeutend modificirt wird, ja in grosser äusserer Kälte durch das Athmen der reinen und dichten Luft mitunter sogar zu wachsen scheint. Die grösste Eigenwärme haben die Vögel; man kann sie im Mittel auf 32^0 bis 33^0 setzen, sie geht aber mitunter über $34^1/_2$ Grade hinaus, und kommt nur äusserst selten auf 30^0. Die Temperatur der Säugethiere, die man durch Messung des frisch ausfliessenden Blutstromes, oder mittelst eines mehrere Minuten unter die Zunge oder in den After geschobenen Thermometers bestimmt, dürfte im Mittel auf 30^0 zu setzen seyn, doch wollen einige Beobachter selbst 32^0 gefunden haben, und es ist kaum wahrscheinlich, dass im Ganzen die Eigenwärme derselben in heisseren Gegenden höher seyn sollte, da vielmehr die Angaben der höchsten beobachteten sich auf Messungen in der strengsten Kälte des hohen Nordens beziehen. Bei den Bestimmungen der animalischen Wärme, namentlich bei den warmblütigen Thieren, muss aber wohl berücksichtigt werden, dass sie nur von den inneren Theilen, zunächst von dem in ihnen angehäuften Blute gelten, denn die äusseren Theile, als Hände, Füsse u. s. w., gehen zwar in wärmerer Umgebung

nicht wohl über die bestimmte Eigenwärme hinaus, wohl aber in hoher Kälte tief unter dieselbe hinab. Eine merkwürdige Ausnahme von der allgemeinen Regel zeigen einige Thierarten, als Murmelthier, Fledermaus u. s. w., im Winterschlafe. Sie ziehen sich bei beginnender Kälte in enge Höhlungen zurück, legen sich zusammengerollt auf ihr hierzu bereitetes Lager, verfallen allmälig in tieferen Schlaf, wobei sie indess die Empfindlichkeit gegen äussere Reize nicht verlieren; das Athmen wird zunehmend langsamer und hört zuletzt ganz auf, bis sie durch künstlich ihnen mitgetheilte, oder die natürlich eintretende steigende Wärme in den Zustand ihres gewöhnlichen Lebens wieder zurückkehren. Ohne die verschiedenen Modificationen dieses Schlafes bei den einzelnen Gattungen näher zu erörtern, wird es genügen, noch zu bemerken, dass sie ihre Lager in Höhlungen wählen, die gegen eine unter den Gefrierpunct herabgehende Kälte schützen, denn sonst würden ihre Säfte in Eis verwandelt werden, und eine Wiederbelebung wäre unmöglich; übrigens ist ihre Temperatur meistens genau die der Umgebung, und die eigene Wärmeentwickelung hört bei ihnen also ganz auf.

78) Die Eigenwärme der Menschen, die bei höherer äusserer Temperatur kaum um etwa 1^0 steigt, bei der grössten Kälte nicht abnimmt, wohl aber bei weniger lebenskräftigen Individuen und im Zustande geringerer Lebensthätigkeit etwas sinkt, kann im Mittel zwischen 29^0 und 30^0 gesetzt werden. Sie bleibt sich im Ganzen stets gleich, doch sind sehr alte Personen und Kinder den äusseren Einflüssen in sofern etwas mehr unterworfen, als ihre Wärme in der Kälte leichter etwas sinkt; gar keine oder nur sehr geringe Veränderung erzeugt der Fieberfrost, etwas grössere der Zustand hitziger Krankheiten. Der Mensch besitzt ausserdem das merkwürdige Vermögen, äusserer Kälte und Wärme auf eine unglaubliche Weise zu widerstehen. In Beziehung auf Kälte kommen die Thiere ihm gleich, und übertreffen ihn sogar, denn die dem hohen Norden zugehörigen Arten dauern in den dortigen niederen Temperaturen auf gleiche Weise aus, auch ertragen selbst in unseren Gegenden die Hausthiere längere Zeit solche Grade

der Kälte, denen der Mensch nicht widerstehen würde, wobei allezeit der Einfluss der Bekleidung zu berücksichtigen ist, welche den Verlust der Wärme so weit hindert, dass die Lebenskraft zu ihrer Wiedererzeugung hinreicht. Ohne diesen Schutz stirbt der Mensch, wenn er 6 bis 12 Stunden anhaltend im Trocknen einer Temperatur von etwa 2^0 bis 5^0, in der Nässe aber von 5^0 bis 8^0 ausgesetzt ist, wobei es sehr in Betracht kommt, ob der Wind und die feuchte Luft, oder gar Regen und Schnee, die Wärme stärker entziehen, wie denn überhaupt eine geringere Kälte bei feuchter Luft empfindlicher wirkt, als eine grössere bei trockener. Erreicht die Kälte etwa — 10^0, so erzeugt sie, insbesondere bei bewegter Luft, eine schmerzhafte Empfindung im Gesichte; von — 12^0 an beginnt der Nasenschleim beim Einathmen und die Thränenfeuchtigkeit zu gefrieren; geht die Kälte über — 25^0 bis — 30^0 hinaus, so pflegen die Menschen auch das Gesicht grösstentheils zu verhüllen und die Augen durch Haargeflechte oder Brillen zu schützen, weil der Schmerz sonst bei bewegter und besonders bei etwas feuchter Luft, was übrigens selten der Fall ist, ganz unausstehlich wird. Der Einfluss hoher Kälte erzeugt Betäubung und versetzt die Menschen bei längerer Dauer in einen Zustand der Trunkenheit, so dass sie irre reden und erst durch Wärme wieder zur Besinnung kommen. Der Zustand der Betäubung und eine unbegrenzte Müdigkeit tritt bald ein, und wird leicht gefährlich, denn nach der Aussage erfrorener Personen, die durch richtige Behandlung wieder hergestellt wurden, und solcher, die dem Erfrieren nahe waren, erfolgt beim Nachgeben gegen die Ermüdung sofort Schlaf mit der angenehmsten, wohlthuendsten Empfindung, doch ist dieses der Anfang des Ueberganges zum unvermeidlichen Tode. Man darf daher der Ermüdung nicht nachgeben, muss vielmehr sich ermannen, und durch angestrengte Bewegung der drohenden Gefahr entgehen. Ich selbst glaube einst einen Begleiter dadurch gerettet zu haben, dass ich seinem Flehen nur um eine Minute Ruhe und Schlaf unerbittlich widerstand, und ein anderer erzählte mir, er habe an einen Baum gelehnt die Annehmlichkeit des Schlafes empfunden, im Augenblicke aber sich

an meine gelegentliche Warnung erinnert, und sofort die Bewegung mit ängstlicher Kraftäusserung fortgesetzt. Für einzelne erfrorene Glieder gilt die bekannte Regel, dass man sie in mässig warmer, oder selbst den Nullpunct kaum übersteigender, Umgebung so lange mit Schnee reibt, bis sie die Empfindung des Brennens erzeugen, erfrorene Personen aber muss man ganz im Schnee liegend gleichfalls so lange damit reiben, bis Lebenszeichen eintreten, und dann nur allmälig die äussere Wärme unter fortgesetztem trockenem Reiben verstärken, bis sie wieder hergestellt sind und stärkende Mittel anwendbar werden, denn eine schnell eindringende stärkere Wärme von Aussen bewirkt Zersetzung der Säfte und Entzündungen und kann das Absterben der Glieder oder den Tod zur Folge haben.

79) Warmblütige Thiere und Menschen vermögen auf die Dauer nicht eine über die des Blutes hinausgehende Hitze zu ertragen; das Blut geräth dadurch in übermässige Wallung, und es tritt ein Zustand heftigen Fiebers ein, welcher dem Leben ein Ende macht. Kleinere Thierchen, als Kaninchen, Katzen, Hunde u. s. w., starben in Zimmern über 32° heiss nach wenigen Minuten, mit grösseren konnte man nicht wohl Versuche machen. Zufällig entdeckte man aber, dass Menschen selbst mehrere Stunden eine Hitze zwischen 32° bis 38° zu ertragen vermochten, ohne dass ihre Eigenwärme zunahm, und es ergab sich bald, dass der Einwirkung sehr hoher Hitzegrade durch dicke Bekleidung, welche das Eindringen zum Körper verhindert, auf kurze Zeit widerstanden wird, auf längere Zeit aber den minder hohen Graden durch die Verdunstung, indem der in Dampf verwandelte Schweiss dem Körper Wärme entzieht, und zwar um so mehr, je stärker durch Fächeln die herbeigeführte trockne Luft den gebildeten Wasserdampf fortführt (§. 129). Hauptsächlich durch das letztgenannte Mittel, wenn zugleich die eigene Wärmeerzeugung nicht durch Bewegung gesteigert wird, können Menschen eine etliche Grade über die Blutwärme hinausgehende äussere Wärme selbst wohl 24 Stunden und länger ertragen, ohne dass ihre Eigenwärme merklich, höchstens etwa 1 Grad, steigt, der Zustand ist aber ein

höchst unangenehmer, der Puls wird beschleunigt, Erquickung durch Schlaf ist unmöglich, die starke Verdunstung erzeugt unausstehlichen Durst, der durch Trinken nicht gelöscht wird, und die Fähigkeit zu irgend einer geistigen und körperlichen Anstrengung entschwindet nach einiger Zeit gänzlich. Nach wiederholten Versuchen vermag aber der Mensch in einer durch Wasserdampf feuchten Umgebung, z. B. in Dampfbädern, etliche Minuten eine Hitze zwischen 40^0 bis 50^0 zu ertragen, in trockener Luft aber eine dem Siedepuncte des Wassers nahe kommende und selbst über diese hinausgehende. In diesem Falle aber muss der Mensch durch dicke, die äussere Wärme schlecht durchlassende, Kleidung gegen die Berührung der heissen Luft geschützt seyn, und es ist dann nicht unmöglich, dass Menschen mit einem rohen Stücke Fleisch in einen heissen Ofen kriechen und es gebraten wieder herausbringen. Ein gewisser *Martinez* hielt sich 14 Minuten in einem Ofen auf, worin das Thermometer 136^0 zeigte, und sprang dann sogleich ins Wasser, war aber so erschöpft, dass er ähnliche Versuche nur einmal wöchentlich zeigen konnte. Grosse äussere Wärme, wenn sie auch 8^0 bis 4^0 unter der Blutwärme bleibt, schwächt und erzeugt durch längere Dauer die mehr für Europäer als für Neger gefährlichen Fieber der heissen Länder.

80) Die Quelle der animalischen Wärme, die Mittel, welche sie erzeugen, sind nicht mehr zweifelhaft, wie nicht minder, dass sie in den inneren Theilen erzeugt und durch das Blut den äusseren mitgetheilt wird. Die älteren Meinungen, wornach sie durch Gährungen im Blute oder durch Reibung des Blutes in den Adern entstehen sollte, finden darin einen Gegengrund, dass im gesunden Blute keine Gährungen stattfinden und Flüssigkeiten überall durch Reibung keine Wärme erzeugen. Eben so wenig kann man die Wärme vom Verdauungsprocesse oder der Nerventhätigkeit ableiten, da zwischen der letzteren und der Wärme überhaupt kein ursächlicher Zusammenhang stattfindet. Die Wärme entsteht vielmehr durch den animalischen Lebensprocess, hauptsächlich das Athmen, und sie ist daher um so stärker, je voll-

ständiger das letztere stattfindet, mithin am geringsten bei den Fischen, die durch ihre Kiemen bloss das im Wasser enthaltene Sauerstoffgas aufnehmen, am stärksten bei den durch Lungen athmenden Thieren. Die Nahrung der warmblütigen Thiere enthält eine grosse Menge Kohlenstoff, welcher nebst Wasserstoff die Hauptbestandttheile der vegetabilischen Nahrungsmittel und namentlich auch des Fettes bei den animalischen bildet. In der eingeathmeten Luft sind im Mittel 21 pC. Sauerstoffgas enthalten, die zum grossen Theile sich mit dem Kohlenstoff des Körpers verbinden, und ein gleiches Volumen Kohlensäure bilden, die in der ausgeathmeten Luft vorhanden ist, wozu dann noch etwas gleichfalls aus dem Sauerstoffgas der Luft und dem Wasserstoff des Körpers gebildeter Wasserdampf kommt. Ohne dieses Letztere hier zu berücksichtigen, findet also im Körper der Thiere ein ähnlicher Process statt, als wenn Kohlen unter Freiwerdung von Licht und Wärme in Kohlensäure verwandelt werden oder verbrennen, und man hat daher nicht mit Unrecht den Lebensprocess in dieser Beziehung einen langsamen Verbrennungsprocess genannt. Hier gewahren wir wieder eine grossartige Einrichtung der Natur in der Wechselwirkung zwischen den Vegetabilien und den Animalien, indem die ersteren die Kohlensäure theils an Wasser gebunden durch ihre Wurzeln, theils aus der Luft durch die Blätter aufsaugen, den Kohlenstoff sich aneignen und das Sauerstoffgas frei machen, die letzteren aber in den gebildeten Pflanzentheilen den Kohlenstoff zu ihrer Nahrung erhalten und durch den Athmungsprocess als Kohlensäure wieder frei machen. Allerdings ist die Erzeugung der animalischen Wärme durch das Athmen ein zusammengesetzterer Process, als das Verbrennen der Kohle im Sauerstoffgas der Atmosphäre, und wir können auf die specielleren Modificationen hier nicht eingehen; im Ganzen aber sind beide dem Wesen nach gleich, und eigens deswegen angestellte Versuche haben auch dargethan, dass gleiche Mengen durch das Athmen gebildeter Kohlensäure etwas mehr Wärme erzeugen, als die durch Verbrennen der Kohlen entstandene, was auch nothwendig der Fall seyn

muss, da im Lebensprocesse noch andere, die Wärmeerzeugung befördernde, Bedingungen, namentlich und vorzugsweise Bildung von Wasser durch Verbindung des Sauerstoffs mit Wasserstoff, enthalten sind. Bleiben wir indess bei der Hauptsache stehen, so lassen sich hiervon sehr wichtige Anwendungen machen. Das Einathmen der Luft, was sogar auch bei todten Thieren künstlich bewerkstelligt werden kann, genügt zur Wärmeerzeugung nicht, sondern das Sauerstoffgas muss hauptsächlich in den Lungen vom Kohlenstoff aufgenommen und in Kohlensäure verwandelt werden, worauf dann auch der Unterschied des rötheren arteriellen und des dunkleren venösen, mehr Kohlenstoff enthaltenden Blutes beruhet. Bei kräftigerem Lebensprocesse, welcher zugleich durch genügende Ernährung unterstützt wird, und bei mehr Bewegung findet eine grössere Production von Kohlensäure und stärkere Wärmeentwicklung statt. Dass die Hausthiere bei zunehmender Kälte mehr fressen, ist allen Oekonomen wohl bekannt, und ebenso bedürfen die Bewohner heisser Gegenden einer geringeren Menge Nahrungsmittel, als die der kalten, weil bei letzteren mehr Kohlenstoff zur Verbrennung (wenn man so sagen will) und zur Wiedererzeugung der in grösserer Menge abgeleiteten Wärme erfordert wird, für die Bewohner der äussersten kalten Zone aber ist das fast aus lauter Kohlenstoff und Wasserstoff bestehende Fett der Seethiere eine geeignete Nahrung. Dass die animalische Wärme unter den verschiedensten Bedingungen stets unverändert bleibt, sofern die geringen Abweichungen vom eigentlichen Mittel nicht von Bedeutung sind, beruhet auf der Lebenskraft, die uns ihrem Wesen nach, wie so vieles andere in der Natur, noch nicht genügend bekannt ist. Handelt es sich endlich um die Frage, wie viel absolute Wärme ein gesunder erwachsener Mensch in einer gegebenen Zeit zu erzeugen pflegt, so folgt zwar aus dem Gesagten, dass eine genaue Beantwortung derselben unmöglich ist, weil der jedesmalige Zustand der Gesundheit, der Bewegung oder der Ruhe u. s. w. hierauf einen wesentlichen Einfluss ausübt; dennoch aber darf man nach darüber angestellten Versuchen annehmen, dass im Mittel ein gesunder erwachsener Mensch

während einer Minute die Wärme von 12 Kubikfuss Luft um 1^0 zu erhöhen vermag.

E. Durch Elektricität.

81) Dass die Elektricität Wärme erzeuge, kann schon aus der Entzündung durch den Blitz gefolgert werden; indess ist dieses ein grosser und gewaltsamer Process, und da man ausserdem von kalten und warmen Blitzschlägen zu reden pflegt, so dürfen wir uns hierbei wohl nicht begnügen, wenn es sich um die Frage handelt, welches Verhältniss zwischen der Elektricität als Ursache und der durch sie erzeugten Wärme als Wirkung stattfindet, vielmehr lässt sich erwarten, dass man bei den unglaublich vielen Untersuchungen über das Verhalten der Elektricität dieses Problem so vollständig, wie möglich, zu lösen bemüht gewesen sey, und wir müssen daher die wesentlichsten erhaltenen Resultate hier mittheilen.

82) Wenn zuvörderst irgend ein Körper, also auch ein Mensch, auf einem mit Glasfüssen versehenen oder an seidenen Schnüren aufgehangenen, also isolirten, Tische sich befindet, so dass seine Elektricität durch die Glas- oder Harz-Füsse oder die seidenen Schnüre nicht entweichen kann, und es wird ihm aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine Elektricität mitgetheilt, so bemerkt man hierdurch keine Veränderung, weder eine Erhöhung noch eine Verminderung seiner Wärme. Dieses ist nicht schwer zu erklären, denn der, wir nehmen an mit positiver Elektricität, geladene Conductor entzieht den isolirten Körpern einen Theil ihrer negativen Elektricität und theilt ihnen dagegen von seiner positiven mit; die Menge beider ist verhältnissmässig nicht gross, und die durch diesen Austausch herbeigeführte Veränderung des elektrischen Zustandes der Körper kann nicht wohl eine messbare Wärmevermehrung zur Folge haben, wenn man nicht eine von beiden Elektricitäten als Wärme enthaltend oder hervorrufend betrachten will, wozu kein Grund vorhanden ist. Strömt die Elektricität vom positiven zum negativen Conductor oder umgekehrt, so wird der sie leitende Körper nach den bisherigen Er-

fahrungen nicht erwärmt, wenigstens konnte bis jetzt auch am dünnsten Drahte und mittelst der stärksten Elektrisirmaschinen keine Erhöhung der Temperatur wahrgenommen werden. Wenn dagegen Funken in einem verschlossenen gläsernen Cylinder, einem sogenannten *Kinnersley'schen* Lufthermometer, von einer Kugel zu einer andern durch die Luft auf $^1/_2$ bis 2 Zoll Entfernung überschlagen, so gelangt man durch feine Messungen zu dem Resultate, dass diese die eingeschlossene Luft durch Wärme etwas ausdehnen, woraus man folgerte, die Elektricität erzeuge nur dann Wärme, wenn sie in den durchströmten Körpern Widerstand finde. Dieses stand sehr im Einklange mit bekannten Versuchen, indem man starke Schläge aus elektrischen Flaschen durch feine Golddrähte, Streifen Blattgold und sehr dünne Metalldrähte, namentlich Eisendrähte, leitete, wobei dann das Blattgold oder Blattsilber und die feinen Golddrähte nicht bloss geschmolzen, sondern ganz eigentlich in sichtbar aufsteigenden Metalldampf verwandelt wurden. Das schönste Schauspiel dieser Art gewährt eiserner Clavierdraht Nr. 12, welcher durch einen kräftigen Flaschenschlag nicht bloss vollkommen glühend wird, sondern zu kleinen Kügelchen, wie feine Schrotkörner, schmilzt, die sprühend umherfliegen und in die Oberfläche der Tische einbrennen; in einigen Fällen wird auch dieser Draht in blauschwarzen, dicken, sichtbar aufsteigenden Dampf verwandelt, aus welchem kleine Fasern Eisenoxydhydrat, meistens in Gestalt regelmässig gewundener kleiner Löckchen, herabfallen. Diese Erscheinungen berechtigten zu dem Schlusse, dass die in der Flasche aufgehäufte Elektricität die besten Leiter dann bis zur Zerstörung erhitze, wenn ihre Menge zu gross ist, um gehörig geleitet zu werden. Eben auf dieser Menge der Elektricität beruhet dann auch der vermeintliche Unterschied des gewöhnlichen Funkens und des Flaschenschlages. Bei kleineren Maschinen muss die Elektricität in der Flasche aufgehäuft werden, um die genannten Wirkungen hervorzubringen, bei den seltenern sehr grossen erhält man sie auch durch den einfachen Funken, doch sind die Empfindungen, welche Flaschenschläge, auch die kleineren, im

menschlichen Körper erzeugen, von eigenthümlicher Art, was man wohl als Folge einer grösseren Verdichtung der Elektricität betrachten muss.

83) Durchdringt der Fläschenschlag, oder der kräftige elektrische Funke, nicht leitende Körper, als Glas, Papier, Kartenblätter, Harze, Seidenzeuge, Holz u. s. w., so werden diese zerrissen und mit grosser Gewalt aus einander geschlagen, wobei die mechanische Gewalt Hunderte, ja selbst Tausende von Pfunden erreicht und wahrhaft Erstaunen erregt. Leicht verbrennliche Körper, selbst auch Zündschwamm, zeigen hierbei allezeit einen brenzlichen, beginnende, aber nicht vollständige, Entzündung andeutenden Geruch, wahrscheinlich den nämlichen, welcher bei nicht zündenden Blitzschlägen jederzeit beobachtet und als schwefelig bezeichnet zu werden pflegt, und das Ausbleiben der vollständigen Entzündung ist hierbei wahrscheinlich die Folge eines zu schnellen Durchdringens der Elektricität, die daher in jedem einzelnen Theile des Raumes nicht lange genug verweilt, wie sich aus den interessanten Resultaten von zwei bekannten Versuchen wenigstens vermuthen lässt. Dringt der Funke, selbst einer sehr starken Batterie, durch aufgehäuftes, oder in einer Patrone eingeschlossenes, Schiesspulver, so geschieht dieses mit einem heftigen Knalle, wobei das Schiesspulver nicht entzündet, wohl aber umhergestreut wird; leitet man aber den Funken zuvor durch einen 1 bis 2 und mehrere Fuss langen nassen Bindfaden, oder durch eine $^1/_2$ bis etliche Zoll dicke Wasserschicht in einer Glasröhre, so hört man keinen Schlag, das Schiesspulver aber wird entzündet. Eine Entzündung desselben erfolgt allerdings auch dann, wenn man feine Eisenfeilspähne einmengt, allein sie ist dann begreiflich die Folge des Erglühens dieser metallischen Theilchen. Nähert man ein Stückchen Zündschwamm mit einer kleinen Hervorragung, die man zwischen den Fingern auch zu einer kleinen Spitze zusammenrollen kann, dem Knopfe einer grossen Flasche, oder einer aus etlichen Flaschen zusammengesetzten Batterie, deren Schlag, wenn er durchgeleitet wird, den Schwamm mit heftigem Krachen zwar durchlöchert, aber nicht

entzündet, so geräth die Spitze ohne alles Geräusch und ohne irgend eine merkliche Empfindung der ihn haltenden Finger in Brand. Eben dieser Erfolg zeigt sich auch ganz gefahrlos, wenn sich ein Mensch auf eine durch Glasfüsse isolirte Bank stellt, den Knopf der Batterie mit der Hand berührt, und ein anderer den Schwamm einem beliebigen Theile seines Körpers, selbst der nassen Zunge, nähert. Füllt man einen gläsernen oder metallenen Apparat, die elektrische Pistole, mit Knallgas (§. 48. 60), oder bringt man einige Tropfen Schwefeläther hinein, die verdampfen und sich mit dem Sauerstoffgas der Atmosphäre zu einem verpuffenden Gemenge vereinigen, und lässt man durch einen kleinen Raum im Innern auch nur den kleinsten elektrischen Funken überschlagen, so entzündet sich das Ganze und verbrennt mit einem heftigen Knalle unter gewaltsamer Ausdehnung. Nähert man auf einer Messerspitze, die auch durch ein wenig Fett etwas klebrig gemacht seyn kann, etwas Knallsilber dem geladenen Conductor, so verpufft dieses selbst in einer Entfernung von 2 bis 6 Fuss. Ebenso explodirt ein Knallfidibus oder Papier mit Knallsilber bestrichen, wenn man sie auf den Conductor legt und mit einem Leiter (einer Metallkugel) berührt, durch den kleinsten elektrischen Funken. Nähert man dem Ende eines gekrümmten, mit dem Conductor verbundenen Drahtes einen mit Schwefeläther gefüllten metallenen oder beinernen Löffel so weit, bis ein Funke in die Flüssigkeit herabfährt, oder hält eine auf dem isolirten Tischchen stehende, den Conductor berührende, Person diesen Löffel, und nähert eine andere, mit der Erde verbundene, Person der Flüssigkeit einen metallenen Körper, ja selbst nur einen Finger bis so weit, dass ein Funke überspringt, so entzündet sich der Schwefeläther. Mit gutem Weingeist gelingt der Versuch weniger, und muss dieser auf allen Fall vorher erwärmt seyn. Ein Stück Phosphor, auf dem positiven Conductor liegend, entzündet sich schwer oder gar nicht, wenn man ihm den Knopf eines metallenen Leiters bis zum Herausfahren kleiner Funken nähert, geräth aber augenblicklich in Brand, wenn man es am Knopfe des genäherten Leiters etwas fest klebt und dem positi-

ven Conductor bis zum Funkengeben nahe bringt. Der Kampher bietet überraschende Erscheinungen dar. Legt man ein Stück desselben auf den positiven Conductor einer stets gedreheten Elektrisirmaschine, und entzündet man dasselbe, so lässt es sich durch eine genäherte metallene Spitze ausblasen, unmittelbar darauf aber durch eine genäherte Kugel wieder entzünden. Als artige Spielerei verfertigt man ein kleines Häuschen aus Pappe, bringt in der Mitte auf dem Boden desselben einen Ring von etwas dickerem Messingdraht an, von welchem ein Draht nach aussen fortgeführt und mit der äusseren Seite einer elektrischen Flasche von etwa 1 Quadratfuss Belegung verbunden wird; einen anderen, mit einer kleinen Kugel an jedem Ende versehenen, Draht senkt man durch das Dach des Häuschens so herab, dass die obere Kugel etwas hervorragt, die untere aber einen $^1/_2$ bis 1 Zoll betragenden Abstand von der Mitte des Ringes erhält, bestreut dann den Ring dick mit gepulvertem Colophonium und umwickelt den Draht über der unteren Kugel mit lockerer Baumwolle. Wird dann der obere Knopf des Drahtes der inneren Belegung der stark geladenen Flasche bis zur Schlagweite genähert, so entzündet der Funke einen Theil des Colophoniumpulvers, dieses setzt die Baumwolle, die auch mit feinem Colophoniumpulver versehen werden kann, in Brand, und das Häuschen erfüllt sich mit Rauch.

84) Aus den zahlreichen, hier mitgetheilten, Thatsachen geht überzeugend hervor, dass die Elektricität das Vermögen zu entzünden besitze, allein die Erscheinungen sind keineswegs einfach und daher gewiss nicht leicht erklärbar, weil die Entzündung in Fällen ausbleibt, wo sie der Erwartung nach erfolgen sollte, indem namentlich das Verhalten des Zündschwammes und Schiesspulvers sich als höchst räthselhaft herausstellt. Ueber die Erwärmung der vollkommen elektrischen Leiter durch einen elektrischen Strom sind unsere Kenntnisse durch die neuesten Versuche bedeutend erweitert und berichtigt. Hieraus ergiebt sich zuerst, dass die Erwärmung stets dieselbe ist, der Ursprung des elektrischen Stromes sey, welcher er wolle, also er komme aus einer gelade-

nen Batterie, oder aus einer Volta'schen Säule jeder Art, oder aus einer magnetoelektrischen Maschine; die thermomagnetischen Apparate aber sind zu schwach, um eine messbare Menge Wärme zu entwickeln, obgleich man mittelst derselben, wenn sie mit einer Inductionsrolle verbunden sind (§. 184), einen Funken aus der an der Spitze des schnell herausgezogenen Leitungsdrahtes verbrennenden geringen Menge Quecksilbers erhalten kann. Zweitens ist die entwickelte Wärme in den nämlichen vollkommenen Leitern so viel stärker, je grösser die Menge der Elektricität ist, welche dieselben durchströmt, und zwar so genau, dass man diese Menge selbst durch die Grösse der Erwärmung zu messen vermag. Dieses Gesetz besteht in seiner ganzen Strenge, und wird dadurch nicht aufgehoben, dass allerdings diejenigen Körper mehr Wärme entwickeln, die dem elektrischen Strome grösseren Widerstand entgegensetzen, vorausgesetzt, dass letzterer nicht eine Stärke erreicht, die den elektrischen Strom ganz aufhebt, oder die Masse der Elektricität desselben allzusehr vermindert, wie denn schon *van Marum* fand, dass von gleich dicken, schlechter leitenden, Eisendrähten 20 Zoll durch einen gleichen Batteriefunken erglüheten, von den besser leitenden Kupfer- oder Silberdrähten aber nur 1 Zoll. Hierdurch werden manche anscheinend einander widersprechende Erscheinungen erklärlich. So wird ein starker Batteriefunke erfordert, um einen nur sehr dünnen Draht glühend zu machen, statt dass ein bis $^1/_2$ Linien dicker Draht, welcher die Pole einer starken Volta'schen Säule verbindet, vollständig glühet und auch wohl verbrennt; denn wie gross auch die Spannung eines Batteriefunkens seyn mag, so ist doch die Masse der in ihm enthaltenen elektrischen Materie im Verhältniss zu der aus den Polen einer Volta'schen Säule strömenden nur gering. Eine Säule, die vermöge der angewandten Flüssigkeit eine nur geringe Spannung hat, aber in Folge der grossen Metalloberfläche eine Menge Elektricität entwickelt, erzeugt grössere Hitze in einem dickeren, als in einem dünneren Drahte, und ein kurzer Draht wird leichter erhitzt als ein langer weil der Widerstand mit der Länge wächst.

85) Alles dieses enthält aber keineswegs die eigentliche Ursache, aus welcher die Wärmeerzeugung durch Elektricität abzuleiten ist. Bei dieser Untersuchung darf nicht unbeachtet bleiben, dass es zwei Elektricitäten, eine positive und eine negative, giebt, und Wärmeerzeugung nur dann stattfindet, wenn beide nach vorausgegangener Trennung sich wieder vereinigen. Man hat daher die Hypothese aufgestellt, die Wärme sey eine Zusammensetzung beider Elektricitäten; allein dann müsste bei ihrer Trennung auf gleiche Weise Kälte entstehen, als bei ihrer Wiedervereinigung Wärme, wofür indess keine einzige Thatsache spricht, während mehrere ihr entgegenstehen, z. B. dass die Elektrisirmaschinen warm werden, während sie Elektricität erzeugen, d. h. die verbundenen Elektricitäten trennen, dass die Volta'schen Säulen sich erhitzen, während sie die Elektricitäten trennen und an ihren Polen aufhäufen. Auch die Ansicht, als ob beim Flaschenschlage, oder beim Strömen der Elektricitäten von einem Pole einer Säule zum andern beide Elektricitäten sich in dem erglühenden Drahte vereinigten, ist nicht genau richtig, da die Vereinigung vielmehr in sofern stattfindet, als die positive Elektricität der inneren Belegung der äusseren, die der letzteren aber der ersteren zugeführt, der Draht aber von beiden in entgegengesetzter Richtung durchströmt wird, wonach also, wenn die Vereinigung schon in diesem stattgefunden hätte, eine Ausgleichung beider Belegungen nicht mehr möglich seyn würde. Endlich müssten auch wohl, wenn die Wärme eine Zusammensetzung beider Elektricitäten wäre, der Schwamm und das Schiesspulver unter jeder Bedingung entzündet werden. Einige Entzündungen, z. B. die des Knallgases, liessen sich wohl aus einer Zusammendrückung in Folge der grossen Gewalt des elektrischen Funkens, welcher die nichtleitende Luft mit grösserem oder geringerem Geräusch durchbricht, sachgemäss erklären, allein dieses ist für das Ganze von zu geringer Bedeutung. Einen schwachen Anhaltpunct bei der Beantwortung dieser schwierigen Frage gewährt die Betrachtung, dass die Wärme Elektricität frei macht (§. 183), und so wie also durch Wärme Elektricität frei wird, könnte auch

die erstere durch die letztere hervorgerufen werden. Ausserdem wirkt die Elektricität stets chemisch zerlegend, und so könnte also die Wärmeentbindung durch sie Folge des Chemismus seyn (§. 43 ff.). Inzwischen sind dieses nur Einzelnheiten, mit denen wir uns bis zur näheren Aufklärung der Sache begnügen müssen. Aus den angeführten Thatsachen wird jedenfalls leicht begreiflich, dass der Blitz wegen der unermesslichen Menge der darin vorhandenen Elektricität, sofern wir ihn als einen Strom betrachten, in welchem sich die positive Elektricität der Wolke mit der negativen der Erde ausgleicht und umgekehrt, zünden könne, und wenn dieses nicht geschieht, die Ursache in der vollständigern Leitung zu suchen sey, ohne einen wesentlichen Unterschied zwischen warmen und kalten Schlägen anzunehmen, was mit der Natur der Sache im Widerspruch stehen würde. Das eigenthümliche Verhalten des Zündschwammes und des Schiesspulvers lässt sich vermuthlich daraus ableiten, dass bei schneller Strömung der Elektricitäten ihre Vereinigung erfolgt, ohne dass sie in das Innere der genannten Substanzen eindringen, statt dass namentlich beim Entzünden des Schwammes die an der inneren Belegung der Flasche gebundene Elektricität nur langsam und auf einen kleinen Raum concentrirt in die dargebotene Spitze eindringt.

III.

Verhalten der Wärme.

A. Leitung.

86) Unter den Untersuchungen über das Verhalten der Wärme bilden diejenigen einen wichtigen Theil, welche sich auf ihre Bewegung, auf den Uebergang derselben von einem Orte oder Körper zu einem andern, beziehen. Die hierher gehörigen Erschei-

nungen sind sehr zahlreich, und müssen daher unter gewisse Classen geordnet werden; doch ist dieses schwer, weil sich die Unterschiede nicht leicht scharf angeben lassen. Im Allgemeinen verlässt die Wärme diejenigen Körper, bei denen sie in grösserer Menge vorhanden oder jedenfalls stärker ist, und geht zu den kältern über, bis zur Herstellung eines vollständigen Gleichgewichts. Wird diese Bewegung nicht durch zwischenliegende Materien gehindert, so geschieht sie in geraden Richtungen, die man daher, wie beim Lichte, Strahlen nennt. Befindet sich also ein Körper von höherer Temperatur irgendwo frei schwebend, so verbreitet sich von ihm die Wärme nach allen Seiten hin in geradlinigen Richtungen bis zu unbestimmten Entfernungen, wie man denn auch annimmt, dass die Sonne ihre Wärmestrahlen allseitig aussendet, ohne dass wir jedoch die eigentliche Beschaffenheit dieses Processes bis jetzt genau zu erforschen vermochten (§. 31). Der dieses Verhalten sachgemäss bezeichnende Ausdruck ist Strahlung, und man redet daher mit Recht von einer Wärmestrahlung (§. 34). Hierher rechnet man auch die allgemein bekannten Erscheinungen, dass die durch die Sonnenstrahlen am Tage erhitzte Erdoberfläche sich bei Nacht wieder abkühlt, wobei man annimmt, die aufgenommene Wärme kehre strahlend zum Himmelsraume zurück. Allerdings wird der Erdboden, insbesondere da, wo er mit Gras und überhaupt mit Pflanzen bedeckt ist und eine rauhe Oberfläche hat, auch nicht zwischen Gebäuden oder Mauern eingeschlossen ist, vorzugsweise in heiteren, windstillen Nächten um mehrere Grade kälter, als die von etwa 3 bis 20 Fuss über ihm schwebende Luft; er selbst sowohl, als insbesondere auch die auf ihm wachsenden Vegetabilien, nehmen den in der Luft enthaltenen Wasserdampf auf, und auf diese Weise entsteht der die Pflanzen erquickende, zugleich auch wegen der ihnen zugeführten Kohlensäure sie ernährende, Thau in überraschender Menge. Obgleich hiernach die Erscheinungen des Thauens sich sehr gut erklären lassen, so haben doch einige Gelehrte es unnatürlich gefunden, dass die Erde ihre Wärme durch wärmere Luftschichten dem Himmelsraume

zusenden, und gleichzeitig die im Wasserdampfe der Luft enthaltene Wärme begierig wieder aufnehmen sollte, indem sie dieses sonstigen Erscheinungen widersprechend finden, und weder in dem Wesen der Wärme, noch ihrem Verhalten zur Erde, noch endlich in dem uns unbekannten leeren Himmelsraume irgend eine Ursache aufzufinden vermögen, welche solche regelwidrige Erscheinungen bewirken könnte. Nach ihrer Ansicht wird daher allerdings Wärme durch die Sonnenstrahlen am Tage zugeführt, zugleich aber im Boden und den ihn bekleidenden Pflanzen erregt, d. h. von der der Erde eigenthümlichen Wärme frei gemacht; beide vereint steigen an die berührende Luft und den gebildeten Wasserdampf gebunden in die Höhe, was den bekannten aufsteigenden Luftstrom bildet, und in Folge hiervon muss dann bei Nacht eine stärkere Abkühlung des Bodens, als der Luft eintreten, weil in letzterer die Menge der aufgenommenen und erregten Wärme wegen ihrer Durchsichtigkeit geringer war, mithin auch nur eine geringere Menge von ihr abgegeben werden konnte. Zur Unterstützung dieser Hypothese führen sie an, dass jeder Theil des Erdbodens, welchen man am Tage mit einem umgestürzten Gefässe, z. B. einem Kasten, bedeckt, sofort seine Wärme verliert, ohne dass eine Strahlung durch die Wandungen des Gefässes möglich ist; ferner die bekannte Erfahrung, dass die nächtliche Abkühlung an solchen Orten am stärksten ist, wo die Sonne am Tage die grösste Wärme entwickelt, weswegen auf den Hochebenen Africa's und in den Wüsten Asiens und America's nicht selten das Wasser bei Nacht in den Schläuchen gefriert, die Menschen am Tage aber gegen die unerträgliche Hitze im Schatten Schutz suchen müssen. Reisen in solchen Gegenden, wo man zugleich keine nächtliche Herbergen findet, sind nicht bloss sehr unbequem, sondern auch der Gesundheit nachtheilig, wie denn namentlich der Capitain *Laing* auf der Hochebene Africa's durch nächtliche Erkältung den Tod gefunden hat. Wir wollen indess den noch nicht entschiedenen Streit über diese specielle Wärmestrahlung auf sich beruhen lassen, und nur bemerken, dass die aufgestellte Hypothese mit einer ähnlichen sehr

im Einklange steht, worauf oben (§. 74) die räthselhaften Erscheinungen der Explosionen zurückgeführt wurden.

87) Alle Körper von höherer Temperatur geben ihre Wärme bis zur Herstellung des Gleichgewichts ab, am stärksten und schnellsten an die sie berührenden; zugleich aber lassen sie dieselbe auch frei entweichen, sowohl wenn sie sich im leeren Raume befinden, als auch wenn die sie umgebenden Körper zwar einige, denn dieses ist unvermeidlich, aber nicht zu grosse Hindernisse in den Weg legen, wie z. B. die Luft, die Gasarten, die Dämpfe u. s. w. Man nennt diese Wärme dann strahlende, das Verhalten selbst Wärmestrahlung, kann es bei allen Körpern leicht wahrnehmen, wie man z. B. bei eisernen Oefen von ihrer unangenehmen Strahlung redet, muss aber bei der genaueren Untersuchung hauptsächlich drei Umstände berücksichtigen, zuerst die Beschaffenheit der ausstrahlenden Körper, zweitens die der Körper, welche die Strahlen aufnehmen, und drittens das Verhalten der Wärme zwischen beiden, wonach man also Ausstrahlung, Einstrahlung und Strahlung im Allgemeinen zu unterscheiden hat.

88) Nehmen wir das letztere als das leichteste zuerst, so ergeben die Versuche sofort, dass die Wärmestrahlen sich, wie die Schall- und Lichtstrahlen, in geraden Linien fortpflanzen, und mit einer Geschwindigkeit, die bis jetzt noch nicht zu ermitteln war, weil sie auf kleinen Strecken für jede Messung zu schnell ist, Versuche auf grösseren aber unüberwindliche Schwierigkeiten haben. Obleich die Erscheinung schon durch *Mariotte* um 1682 aufgefunden ist, so wurde sie doch zuerst durch *Pictet* aus dessen Versuchen mit seinen Brennspiegeln um 1790 allgemein bekannt. Unter die wichtigsten Versuche gehört folgender. Man nimmt zwei Hohlspiegel von 1 bis 2 Fuss Durchmesser, die aus Zinn, aus hölzernen, mit Gyps überzogenen und mit Blattgold oder Blattsilber bekleideten Formen, ausgetriebenem polirten, oder wohl auch vergoldetem Messingblech, oder aus Spiegelmetall, wenn man die grossen Kosten daran wenden will, verfertigt seyn

können; auch dürfte polirter Stahl, wenn genügend gegen das Rosten geschützt, zu empfehlen seyn, Glasspiegel aber sind nicht geeignet (§. 116). Beide werden mit ihren polirten Flächen einander in geeigneter Entfernung gegenüber, ihre Axen in einer geraden Linie liegend, aufgestellt; in dem Brennpuncte des einen befindet sich ein Thermometer, in dem des andern ein erwärmender Körper, eine Kerze, eine Kohle, eine heisse Kugel u. s. w., und wenn dann ein zwischen beiden befindlicher dunkler Schirm schnell weggenommen wird, so steigt das Thermometer augenblicklich, und sinkt sofort wieder, sobald der Schirm an seinen früheren Ort kommt. Um die Sache auffallender zu machen, pflegt man in den Brennpunct des einen Spiegels eine stark glühende Kohle, ungefähr von der Grösse eines Hühnereies, zwischen drei Spitzen auf einer Stange ruhend zu bringen, und mittelst eines Blasebalges, dessen Düse von hinten durch eine Oeffnung im Spiegel gesteckt ist, anzublasen, im Brennpuncte des andern Spiegels aber ein auf eine Drahtspitze gestecktes Stück Zündschwamm zu halten, und es gelingt dann bei guten, etwa 18 Zoll im Durchmesser haltenden Spiegeln leicht, den Schwamm bis auf 24 Fuss Entfernung zu entzünden. Hierbei lässt sich die interessante Beobachtung machen, dass durch die Kohle ein Wärmecylinder gebildet wird, welcher von einem den Spiegeln gleichen Durchmesser horizontal zwischen beiden schwebt, wovon man sich überzeugt, wenn man von der Seite die Hand in denselben bringt. Befindet sich im ersten Spiegel statt der Kohle ein Stück Eis, so sinkt das Thermometer im zweiten augenblicklich nach Wegnahme des Schirms. *Rumford* wollte hieraus folgern, dass es auch Kältestrahlen gebe; allein hiergegen streiten triftige, in der Einleitung angedeutete, Gründe, und die hier in Rede stehende Erscheinung beweiset gar nichts, weil ja nothwendig das kältere Eis die grössere Wärme des Thermometers auf gleiche Weise aufnehmen muss, wie das kältere Thermometer die der Kohle. Wichtiger dagegen ist es zu beachten, dass die zwischen beiden Spiegeln befindliche Luft von gar keinem Einfluss ist, mithin die Wärmestrahlen sich durchaus selbstständig bewegen; denn selbst

ein starker, gegen den Wärmecylinder gerichteter Windstrom ändert die Erscheinung nicht im mindesten.

89) Bei den hier erörterten Erscheinungen werden blanke Flächen erfordert, und die Versuche gelingen um so besser, je vollkommener die Politur der Spiegel ist. Fehlt die letztere bei beiden Spiegeln gänzlich, so findet die Erscheinung gar nicht statt, fehlt sie bloss beim zweiten Spiegel, so würde man zwar den beschriebenen warmen Cylinder erhalten, allein die Wärme würde nicht im Brennpuncte des zweiten vereinigt werden. Hieraus ergiebt sich, das bei blanken Flächen die Wärmestrahlen sich genau wie die Lichtstrahlen verhalten; bei rauhen dagegen kommt ein Unterschied zum Vorschein, den wir sogleich näher erörtern werden. Gleichwie sowohl durchsichtige als auch undurchsichtige Körper, sobald ihre Oberfläche genügend polirt ist, zwar einen Theil der auffallenden Lichtstrahlen vernichten, einen andern aber, und zwar einen ihrer Politur proportional grösseren, zurückwerfen, so findet eben dieses auch bei den Wärmestrahlen statt, und so wie man die Körper in Beziehung auf das Durchlassen des Lichtes diaphan nennt, denen dann die adiaphanen oder undurchsichtigen und undurchscheinenden entgegenstehen, hat man diejenigen, welche die Wärme durchlassen, diathermane genannt, denen dann die adiathermanen entgegenstehen (§. 116). Nach dieser Bezeichnung können wir also sagen, dass sowohl die diathermanen, als auch die adiathermanen Körper die Wärmestrahlen zurückwerfen, wenn ihre Flächen polirt sind, und zwar um so mehr, je höher die Politur und je geringer die diathermane ist, worin sich also die Wärmestrahlen den Lichtstrahlen höchst ähnlich zeigen, so dass man daher beiden eine Wellenbewegung beilegt, die bei den Lichtstrahlen auf allen Fall keinem Zweifel unterliegt. Es würde vielseitig interessant seyn zu wissen, wie viele der auffallenden Wärmestrahlen, je nach der Beschaffenheit und der Politur der verschiedenen Körper, reflectirt werden, allein hierüber ist kaum mehr bekannt, als dass nach einem genauen Versuche *Melloni's* ein gut polirter Messingspiegel nur $^{44}/_{100}$, also nicht ganz die Hälfte der auffallenden

Wärmestrahlen, zurückwirft. Schwerlich wird daher, wie dieses auch beim Lichte der Fall ist, der best polirte Spiegel mehr als $\frac{1}{5}$ der auffallenden Wärmestrahlen zurückwerfen. Nach *Leslie's* Versuchen wirft Messing sehr viele Wärmestrahlen zurück, Glas nur ein Zehntel so viel, und die angenommene grösste Menge von $\frac{1}{5}$ dürfte daher auch unter den günstigsten Bedingungen wohl nie erreicht werden.

90) Fallen die Lichtstrahlen auf eine rauhe, insbesondere eine dunkle, Oberfläche, so werden sie gänzlich vernichtet, sie verschwinden wie die Wellen des Wassers an einer für diese Flüssigkeit undurchdringlichen Wand, und lassen hieraus folgern, dass sie aus nichts anderem, als einer Wellenbewegung des Lichtäthers bestehen. Ganz anders verhalten sich aber die Wärmestrahlen, indem sie in die rauhen und dunkeln Oberflächen eindringen und die Temperatur der durch diese begrenzten Körper erhöhen, woraus wir dann auf das Vorhandenseyn eines materiellen, sich quantitativ anhäufenden, Körpers schliessen. Die Zurückwerfung wird übrigens nur durch die eigentliche, jedenfalls sehr dünne, Oberfläche bewirkt; die nicht zurückgeworfenen, also eingedrungenen, Wärmestrahlen dagegen werden von dem Körper aufgenommen, und entweder von dessen anderer Seite, wenn er ein dünner ist, wieder abgegeben, oder in seiner Masse, wenn diese beträchtlich ist, fortgeführt, beides nach eigenthümlichen, näher zu untersuchenden Gesetzen.

91) Der so eben hervorgehobene Unterschied des Verhaltens der Lichtstrahlen und der Wärmestrahlen tritt noch ungleich sichtbarer hervor bei den Erscheinungen der Ausstrahlung der Wärme aus gegebenen Körpern. Die Ausstrahlungen des Lichts und der Wärme aus glühenden Körpern zeigen zwar in sofern eine Aehnlichkeit, als beide mit dem Grade des Glühens zunehmen, bei den selbstleuchtenden kalten Körpern, z. B. den Phosphoren, den leuchtenden Pflanzen und Seethieren, kommt aber die Oberfläche, soweit bekannt, gar nicht in Betrachtung, statt dass diese bei der Wärmestrahlung einen entschiedenen Einfluss ausübt. Ist

ein erhitzter Körper von glatten, insbesondere blanken, Oberflächen umgeben, so wird dadurch die Ausstrahlung der Wärme ausnehmend, fast bis zum gänzlichen Verschwinden vermindert, zeigt sich aber mit zunehmender Stärke, sobald diese nämliche Oberfläche mit einer dünnen Lage irgend eines rauhen Körpers überzogen ist. Um dieses allerdings merkwürdige Verhalten anschaulicher zu machen, bedient man sich des zuerst von *Leslie* angegebenen, nachher unter verschiedenen Abänderungen von *Rumford* viel gebrauchten hohlen Würfels. Man verschafft sich einen solchen von etwa 6 Zoll Seite aus blankem Weissblech oder besser aus gut polirtem Messingblech, versieht ihn oben mit einer Dülle, um ihn durch diese mit heissem Wasser zu füllen, und stellt ihn auf ein Brett, auf welchem zugleich ein Metalldraht als Träger eines Luftthermometers (§. 2) aufgerichtet ist, dem man den Würfel auf stets gleiche Entfernungen nähern kann. Von den vier Seiten des Würfels, dessen obere und untere Fläche nicht in Betracht kommt, lässt man die eine polirt, die zweite reibt man mit Sandpapier rauh, die dritte überzieht man dünn mit einer Leimfarbe aus Bleiweiss oder nur feiner Kreide, die vierte mit Kienruss, indem man sie über einen brennenden Spahn Kienholz oder etwas mit Terpenthinspiritus getränkte Baumwolle bloss so lange hält, bis sich ein dünner, den Glanz des Metalls nicht mehr durchlassender, Ueberzug gebildet hat. Ist der Apparat auf solche Weise hergerichtet und mit heissem Wasser gefüllt, und nähert man die blanke Seite dem Thermometer, so wird dieses wenig oder gar nicht steigen, dagegen augenblicklich und stark, wenn eine der andern Seiten, namentlich die mit Russ überzogene, ihm gegenüber steht, und sofort sinken, wenn man die blanke wieder an ihre Stelle setzt. Einen eigenthümlichen Eindruck erhält der Beobachter, wenn er in gleichem Abstande zwei Finger gleichzeitig, allenfalls mit verschlossenen Augen, der blanken und der weiss angestrichenen Fläche gegenüber hält. Er empfindet dann die aus der letzteren ausstrahlende Wärme, keine dagegen aus der ersteren, beide aber wechseln diese Rollen bei der wirklichen Berührung. Der Grund hiervon liegt darin,

dass im letzteren Falle die Strahlung wegfällt, die blanke Fläche dagegen ihre Wärme dem Finger unmittelbar zuführt, bei der angestrichenen diese aber erst den Ueberzug durchdringen muss. Dieser darf eben daher nicht dick seyn, weil sonst die Ausstrahlung vermindert wird, kann übrigens aus den verschiedensten Substanzen bestehen, z. B. aus dünner Thierblase, Papier, Zeuge u. s. w., wobei auch die Farbe einen Einfluss äussert, im Allgemeinen von der Art, dass die dunkle, und namentlich die schwarze, die Ausstrahlung wie die Einstrahlung am meisten befördert.

92) Fragen wir nach der Ursache dieses eigenthümlichen Verhaltens der Wärme, so erklärt sich die Zurückstrahlung von blanken Flächen leicht aus der Wesenheit der auffallenden Wellen, sofern sie, eben wie die Licht- und Schallwellen, gegen die vollkommen ebenen, und eben daher blanken, Flächen stossend von diesen zurückgeworfen werden; ungleich schwieriger dagegen ist die Aufgabe, den Mangel der Ausstrahlung solcher Flächen sich vorstellbar zu machen. Inzwischen ist dieses auf folgende Weise bis zu einem gewissen Grade der Deutlichkeit erreichbar. Denken wir uns unter der Wärme eine sehr feine ätherische Flüssigkeit, die zwar das Bestreben hat sich auszubreiten, zugleich aber von den Körpern angezogen und mit einem gewissen Grade der Stärke festgehalten wird, so geschieht Letzteres weit leichter, wenn alle anziehende Puncte der Fläche in derselben Ebene liegend sich gegenseitig unterstützen, mithin kein Theilchen der Wärme hervortritt. Ist dagegen die Fläche rauh, d. h. besteht sie aus einer Menge neben einander liegender, verschwindend kleiner, Erhabenheiten und Vertiefungen, so treten die Wärmetheilchen an den Erhabenheiten stärker hervor, werden weniger allseitig festgehalten, und trennen sich daher. Wir gewahren bei der Elektricität eine ganz gleiche, die vorliegende anschaulich machende, Erscheinung. Ein ganz ebener, blanker Conductor hält das elektrische Fluidum fest, befinden sich aber Spitzen auf demselben, so erfolgt augenblicklich ein Austrahlen aus diesen. Bei der letztgenannten Erscheinung unterstützt uns der Sinn des Gefühls, bei der Wärme aber müssen wir uns

zur Erleichterung der Vorstellung die Rauheiten als sehr feine Spitzen denken.

93) Vor allen andern hat *Rumford* verschiedene praktische Anwendungen hervorgehoben, die sich von dem angegebenen Verhalten machen lassen. Das Wasser muss Siedehitze haben, wenn es aus dem Thee die verlangten Substanzen ausziehen oder extrahiren soll. Bereitet man dieses Getränk in porzellanenen oder irdenen Töpfen, so strahlen diese sofort Wärme aus, das Wasser verliert seine geeignete Temperatur, und der Extract wird schlechter; besser dagegen, wenn man metallene, namentlich silberne, möglichst blanke Gefässe anwendet. Die Köchinnen halten viel auf die Blänke ihrer metallenen Kochgeschirre, und werden von den Hausfrauen wegen der damit verbundenen Reinlichkeit dafür gelobt; allein ökonomisch vortheilhaft ist dieses nicht, denn von der zugeführten Wärme wird ein Theil zurückgestrahlt, und daher ein grösserer Aufwand von Brennmaterial erfordert. Hebt man dagegen erhitzte Gegenstände in blanken Gefässen auf, so werden sie weit langsamer erkalten, als in russigen. Bekanntlich setzen sich die Stubenfliegen bei beginnender Herbstkälte vorzugsweise gern auf vergoldete Rahmen, die sie dann zugleich beschmutzen. Die Ursache liegt darin, dass die blanken Flächen ihnen weniger Wärme durch Ableitung entziehen, als die rauhen.

94) Es dürfte hier der geeignete Ort seyn, eine kurze Uebersicht der Regeln einzuschalten, auf denen die Heizung der Zimmer beruhet, die man allgemein nach blosser Erfahrung einzurichten pflegt, obschon sich auch hierfür geeignete Regeln aus der Physik entnehmen lassen. Die Aufgabe besteht in ihrer Allgemeinheit darin, die Wärme der Luft eines Gemaches fortdauernd so weit zu erhöhen, dass sie nicht unter eine gewisse Temperatur herabsinkt, ungeachtet ihr durch verschiedene Ursachen anhaltend Wärme entzogen wird. Es handelt sich daher zuerst um die geeigneten Mittel, die Wärme zu erzeugen und gehörig zu vertheilen, und zweitens um die Verminderung des nie ganz zu vermeidenden Wärmeverlustes. Berücksichtigen wir den ersten Theil der Aufgabe, so sind zuvörderst im Allgemeinen die verschiede-

nen Mittel der Heizung das der Camine, der Stubenöfen, der sogenannten Luftheizung, der Dampfheizung und der Wasserheizung. Für jede Art Heizung gilt als Regel, dass man das geeignete Brennmaterial wähle, worüber das (§. 73) Gesagte nähere Auskunft giebt, zugleich dafür sorge, dass dasselbe möglichst vollständig verbrenne, also der Verbrennungsraum verhältnissmässig nicht zu eng und zu niedrig sey, und die durch das Verbrennen erhitzte Luft den grösstmöglichsten Theil ihrer Wärme an die zu erwärmenden Räume abgebe, ohne zu grossen Verlust durch das Entweichen im Camin oder das Eindringen in umgebende Wandungen. Alle übrige Bedingungen des Heizens werden durch die verschiedenen angewandten Apparate so wesentlich modificirt, dass es am besten ist, sie mit Ausschluss der nur als Luxus zu betrachtenden Caminheizung einzeln zu untersuchen.

95) Für alle Arten Vegetabilien ist Feuchtigkeit der umgebenden Luft sehr zuträglich, und daher die Wasserheizung für Gewächshäuser am geeignetsten. Ihre Einrichtung besteht in einem Wasserbehälter von angemessener Grösse im Gewächshause selbst, mit einem im Innern des Behälters befindlichen eisernen oder kupfernen Ofen, welcher von aussen geheizt wird, und das Wasser erwärmt, so dass dessen aufsteigender Dampf sich in der Umgebung ausbreitet und seine Wärme der Luft abgiebt. Eine Abänderung dieses einfachen Apparates besteht darin, dass man zwei Gefässe mit Wasser, eins im Innern des Gewächshauses und eines in einem Vorgemache ausserhalb aufstellt, und beide oben durch einen offenen Canal, unten durch eine Röhre mit einander verbindet. Wird dann das Wasser des äusseren Gefässes durch einen im Innern desselben oder unter ihm befindlichen Ofen erhitzt, so steigt dasselbe durch seine Ausdehnung, fliesst durch den oberen Canal in das andere, giebt daselbst seine Wärme ab und kehrt erkaltet durch die untere Röhre in das äussere Gefäss wieder zurück. Die Idee ist allerdings sinnreich, aber keineswegs ersparend; denn das äussere Gefäss giebt auf alle Fälle eine bedeutende Menge Wärme durch Verdampfung, auch wenn man es mit einem Deckel bedecken wollte, an seine Umgebungen

ab. Ohne Nachtheil könnte daher diese Vorrichtung nur da angewandt werden, wo man das äussere Gefäss ohnehin zu anderen Zwecken heizen müsste. Zuweilen dienen gemauerte Canäle, etwa 1 Schuh oder darüber im Lichten weit, in denen die in einem geeigneten Ofen erhitzte Luft nebst dem Rauche fortströmt, zum Heizen der Gewächshäuser. Sie sind in sofern zweckmässig, als sich die Töpfe der starke Hitze bedürfenden Pflanzen auf diese Canäle setzen lassen, jedoch müssen sie geeignete Steigung haben, und am Ende mit einem über das Treibhaus hervorragenden Schornsteine versehen seyn, damit sie gehörig ziehen.

96) Grosse Säle, in denen feuerfangende Materialien verarbeitet, oder Magazine, in denen sie getrocknet werden, eignen sich sehr für Dampfheizung, die man besonders auch da anwendet, wo ohnehin eine Menge Wasserdampf, z. B. zum Betriebe der Dampfmaschinen, erzeugt wird. Die einfache Vorrichtung besteht bloss aus Röhren von geeigneter Weite, in denen der Dampf aus dem Siedegefässe aufsteigt, und die man durch die zu erwärmenden Räume leitet. Die Wärme dringt hierbei durch die Wandungen der Röhren, der Dampf verwandelt sich in Wasser, und dieses läuft, wenn die Röhren stets aufsteigen, wieder in den Kessel zurück, oder fliesst am Ende in Gefässe ab, um zu andern Zwecken benutzt zu werden. Im ersteren Falle könnte die Gewalt der Dämpfe so stark werden, dass sie die Röhren sprengte; auch hindert die Luft, wenn sie nicht entweichen kann, das Eindringen des Dampfes, weswegen man die Röhren mit einer Klappe versieht, aus denen die Luft bei beginnender Heizung entweicht, und in welche sie nach beendigter wieder eindringt, weil durch Abkühlung des Dampfes ein luftleerer Raum entsteht. Sind die Röhren lang, so dehnen sie sich durch die Wärme aus und man muss daher an geeigneten Stellen Compensatoren anbringen, etwa so, dass zwei in einander gesteckte Röhrenenden mittelst umwickelten Hanfes und Unschlittes verschiebbar sind (§. 143); für einzelne Zimmer sind auch cylindrische Oefen von Blech geeignet, in welche der Dampf durch eine Röhre eintritt, seine Wärme abgiebt, und als Wasser sich auf dem Boden sammelt, um durch

eine andere Röhre wieder in den Kessel zurückzufliessen. Bei allen diesen Röhren, die nicht wohl anders als von Metall seyn können, wird erfordert, dass sie die Wärme leicht ausstrahlen, und daher findet *Tredgold* solche von Eisenblech mit rauher brauner Oberfläche am geeignetsten, denn sie geben eine Wärmemenge, die man zur Vergleichung durch die Zahl 180 bezeichnen kann, wenn andere von schwarzer blanker Oberfläche nur 156, gläserne 155, solche von Weissblech aber nur 100 geben.

97) Bei weitem die gemeinste Art der Heizung ist die durch Oefen, die man an geeignete Stellen in die Zimmer stellt. Die erste Frage, welche man hierbei an die Wissenschaft zu machen hat, wäre wohl, wie sich die Grösse der Flächen, aus denen diese die Wärme abgeben, zum Raume, den sie erwärmen sollen, verhalten müsse. Allerdings hat man diese Aufgabe untersucht, und es fehlt auch nicht an Mitteln zu ihrer Lösung; allein da es hierbei sehr auf die in einer bestimmten Zeit abgegebene Wärme, insbesondere aber auf die von sehr vielen Bedingungen abhängende leichtere oder schwerere Erkaltung der geheizten Zimmer ankommt, so werden alle Regeln hierüber leicht weitläufig und unsicher, und es ist daher besser, sich hierbei an die durch Erfahrung gewonnene Kenntniss zu halten, aus welcher im Allgemeinen hervorgeht, dass eiserne Oefen verhältnissmässig kleiner seyn können, als thönerne, weil sie die Wärme weit stärker abgeben. Zu den (§. 94) angegebenen allgemeinen Regeln lassen sich daher noch etwa folgende hinzusetzen. Als Hülle des Raumes, worin das Brennmaterial verbrennt, ist ohne Widerrede Eisen am geeignetsten, jedoch muss man zu grosse Dicke und Sprödigkeit vermeiden, um gegen das Zerspringen gesichert zu seyn. Eiserne Oefen strahlen die Wärme stark aus, sie gewähren daher den Vortheil der schnellen Erhitzung, allein eben diese Ausstrahlung afficirt unangenehm in der Nähe, und giebt den thönernen Oefen einen Vorzug. Weil aber der Feuerraum beim Einbringen des Brennmaterials, namentlich grosser Holzstücke, leicht zerstossen wird, so wählt man eiserne Unteröfen mit thönernen Aufsätzen, welche letztere mit Canälen (Zügen) versehen sind, damit

die durch das Verbrennen erhitzte Luft und der Rauch erst ihre Wärme abgeben, ehe sie in den Schornstein treten. Für Steinkohlen sind wegen der starken erzeugten Glühhitze nur eiserne Oefen geeignet, wenigstens wird ein eiserner Brennkasten erfordert. Eine wohlfeile und zugleich sehr brauchbare Sorte Oefen, deren man sich in den kälteren, und mitunter holzarmen, Gegenden des nördlichen Teutschlands bedient, besteht aus einem eisernen Unterofen, auf welchem ein Aufsatz mit 4 bis 8 über einander hinlaufenden Zügen aus blossen Backsteinen mit die Züge trennenden Eisenblechen aufgemauert wird. Eine Bekleidung aus Lehm, mit Wasserfarbe angestrichen und etwas marmorirt, giebt mindestens eine mässige Eleganz, im Allgemeinen aber sind matte Kacheln zwar nicht schöner, aber besser als blanke glasirte, weil sie ein stärkeres Ausstrahlungsvermögen haben. Thönerne Wandungen müssen schon der Haltbarkeit wegen dicker seyn, als eiserne; sind sie zu dick, so dauert es länger, bis sie durchwärmt werden, und die Wärme wieder abgeben, sie erkalten dann aber langsamer, nach Versuchen bei 4 mal grösserer Dicke in 26 mal längerer Zeit, und so kann man leicht das gehörige Maass finden. Windöfen gewähren den Vortheil, dass sie die verdorbene Luft aus den Zimmern abführen, sie sind also für die Gesundheit zuträglich, erfordern aber mehr Brennmaterial, weil sie stark ziehen müssen, um nicht zu rauchen, dadurch aber eine bedeutende Menge der schon erwärmten Luft aus den Zimmern abführen.

98) In der Nähe der Oefen muss nothwendig die Wärme stärker seyn, als in grösserer Entfernung, und wenn wir die Strahlung nicht rechnen, die bei den Oefen, namentlich den thönernen, nur den bei weitem geringeren Theil der Erwärmung ausmacht, so dringt die Wärme durch ruhende Luft so langsam (§. 113), dass man in etwa 24 Fuss Abstand vom Ofen nach 12 Stunden kaum eine Erhöhung der Temperatur wahrnehmen würde. Hierzu kommt, dass die warme Luft stets aufsteigt, die kältere dagegen niedersinkt, und es würde daher schwer seyn, die Fussböden erträglich zu erwärmen. Diesen beiden Uebelständen wird aber von selbst dadurch abgeholfen, dass die die

Oberfläche berührende, und dadurch erwärmte, Luft als leichter aufsteigt, die untere kältere dadurch emporgehoben wird, und auf diese Weise eine Luftbewegung entsteht, so dass man oft an den Enden der Zimmer das Herabgehen der erwärmten Luft in kurzer Zeit wahrnehmen kann. Das Vorhandenseyn einer solchen Bewegung lässt sich durch eine artige Spielerei anschaulich machen. Man errichtet auf einem kleinen Brettchen einen vertikalen eisernen Draht (Strickstock), schneidet aus starkem Papier oder einer Karte eine runde Scheibe von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, schneidet aus dieser, von aussen anfangend, einen spiralförmigen Streifen von 1 bis 2 Linien Breite, macht durch gehörigen Druck mit einer stumpfen Spitze in das zurückbleibende mittlere Scheibchen von nahe 2 Linien Durchmesser eine geeignete Vertiefung, zieht die Spirale etwas herab bis zu 2 bis 4 Zoll Länge, balancirt die Vertiefung auf der Spitze des Drahtes und stellt das Brettchen auf den Ofen, um mittelst dieses Apparates die Stärke der Heizung zu messen. Die Spirale wird nämlich durch die aufsteigende erwärmte Luft in drehende Bewegung versetzt, und zwar in desto schnellere, je stärker die Heizung ist, da sie still steht, wenn der Ofen aufhört, die Luft so weit zu erwärmen, dass sie dadurch aufsteigt. Man kann aber, wenn es bei grossen Zimmern nöthig ist, den Luftwechsel künstlich dadurch verstärken, dass man den Ofen in etwa 4 bis 6 Zoll Abstand mit einem Mantel aus Weissblech oder Papier umgiebt, welcher auf 3 bis 6 dünnen Füssen ruhend unten um 2 bis 4 Zoll vom Boden absteht. Die Luft wird hierdurch gezwungen, durch diesen offenen Raum zwischen dem Ofen und dem Schirm, also gerade vom kälteren Fussboden aus, einzudringen und schneller in die Höhe zu steigen, als sonst geschehen würde. Ein solcher Schirm, namentlich wenn er aus Weissblech besteht, hindert ausserdem die Strahlung.

99) Den eben angegebenen Zweck suchte man durch die sogenannte Luftheizung zu erreichen, die sich im Wesentlichen von der Ofenheizung bloss dadurch unterscheidet, dass bei der letzteren die Oefen im Zimmer stehen und die erhitzte Luft von ihnen unmittelbar aufsteigt, bei der ersteren aber der Ofen sich

in einer besondern Heizkammer befindet, von welcher aus die warme Luft in das Zimmer geleitet wird. Die Neuheit der Sache veranlasste grosses Aufheben, und, wie dieses immer zu geschehen pflegt, Uebertreibung, indem man von dieser Methode eine bedeutende Ersparung des Brennmaterials erwartete, während vielmehr, in sofern man einer besondern Heizkammer bedarf, zur Erwärmung derselben jedenfalls ein neu hinzu kommender Aufwand erfordert wird. Ueberhaupt möchte ich im Allgemeinen gegen die oft gepriesenen vielfachen Künsteleien bei der Heizung warnen, denn nicht immer beruhen sie auf richtigen physikalischen Principien, und sind nicht selten neben den geringeren Vortheilen mit grösseren Nachtheilen verbunden. Luftheizung eignet sich vorzugsweise für sehr grosse Räume, Kirchen, Concert- und Ballsäle, Theater u. s. w.; man vermeidet dadurch die Anwesenheit der Oefen und deren einzelne, oft unbequeme Einfeuerung, und man bedarf oft nur einer einzigen, eben daher aber auf das Zweckmässigste einzurichtenden Heizkammer, um die sämmtlichen Gemächer nebst den Gängen eines grossen Gebäudes zu erwärmen. Eben daher würde sie für Gefängnisse, Strafanstalten und Irrenhäuser, wo einzelne Oefen aus vielen Gründen nicht zulässig sind, sehr geeignet seyn, jedoch muss man dabei sorgfältig vermeiden, dass nicht die Zuleitungsröhren der heissen Luft zugleich den Schall der tobenden Irren oder die Zwiegespräche der Verbrecher leiten. Die Erfahrung hat ferner ergeben, dass die Luft durch sie über alle Vorstellung und zum Nachtheil der Gesundheit ausgetrocknet wird, weswegen sie für Trockenanstalten vor allen andern Empfehlung verdient, für Wohn- und Arbeitszimmer der Menschen ist aber unumgänglich erforderlich, in die Heizkammer zugleich ein Gefäss mit Wasser zu setzen, um den erforderlichen Wasserdampf zu liefern.

100) Die Einrichtung der Luftheizung ist sehr einfach. Man setzt den oder die Oefen (allzugrosse Oefen sind unvortheilhaft, weil sie für die Masse des in ihnen verbrennenden Materials der Wärme eine zu geringe Oberfläche zur Ausstrahlung darbieten) in eine am tiefsten Orte des Gebäudes befindliche gemauerte und

inwendig verputzte Heizkammer, welche an einer Seite mit einer geeigneten, durch eine Thür von Eisenblech verschlossenen, Oeffnung versehen seyn muss, um nöthigenfalls am Ofen nachzusehen. Aus dieser Heizkammer gehen die Canäle, unten zur Vermeidung der Feuersgefahr von Blech, höher hinauf von Holz mit Papier überklebt, durch welche die heisse Luft den verschiedenen Räumen zugeführt wird. Diese Canäle müssen zwar, wie sich von selbst versteht, mit Schiebern versehen seyn, um sie mehr oder weniger zu öffnen oder ganz zu verchliessen, zugleich aber erfordert ihre Anlage die grösste Vorsicht, und dennoch lässt sich nicht mit Sicherheit bestimmen, ob sie den Räumen jederzeit die verlangte Menge heisser Luft zuführen, ja die Strömung ist in ihnen zuweilen so stark, dass die bewegte Luft an einer gegebenen Stelle nicht bloss nicht ausströmt, sondern die äussere in sich hineinzieht, wodurch dann statt Erwärmung vielmehr Erkaltung erzeugt wird. Dieser Fall kann namentlich dann leicht stattfinden, wenn der Canal über der Oeffnung noch eine grössere Höhe hat, weil im Allgemeinen das Gesetz gilt, dass die wärmere Luft aufsteigt, und zwar um so viel schneller, je grösser die lothrechte Höhe der bewegten Luftsäule ist. Hieraus folgt von selbst, dass für jeden Stock eines Gebäudes besondere Röhren aus der Heizkammer ausgehen müssen, die so viel enger seyn können, je grösser ihre Höhe ist. Es giebt zweierlei wesentlich verschiedene Arten der Luftheizung. Bei der einen ist die Heizkammer unten mit einem Zuflusscanale versehen, in welchen die kalte Luft aus einem freien, nicht ungesunden Raume, etwa einem Garten, einströmt, dann ihre angenommene Wärme an die Zimmer abgiebt, und durch Canäle, welche über den Fussböden derselben münden, wieder abfliesst, wobei sie meistens in die Gänge oder Dachkammern geleitet wird, um den Rest ihrer Wärme daselbst abzugeben. Bei der zweiten steigt die heisse Luft in den Canälen, die im oberen Theile der Heizkammer sich öffnen, in die Höhe, verbreitet sich in den zu erwärmenden Zimmern, in die sie unter der Decke oder wenigstens in einiger Höhe eintritt, und fliesst durch andere, über dem Boden der Zimmer sich öffnende, Röhren

bis auf den Boden der Heizkammer wieder ab. Hierbei findet also bloss eine Circulation der nämlichen Luftmasse statt, und geht durch das Entweichen der Luft keine Wärme verloren.

101) Zu einer vollständigen Untersuchung der Luftheizung würde nicht bloss eine Bestimmung der Grösse der erforderlichen Oefen, sondern noch obendrein der Weite der Luftcanäle nöthig seyn, allein das Erste wird, wie bei der Stubenheizung und aus gleichen Gründen, am besten der durch Erfahrung gewonnenen allgemeinen Kenntniss überlassen, mit dem Bemerken, dass die Oefen den Heizkammern eine weit stärkere Erhitzung gestatten, als die in den Zimmern stehenden, und daher verhältnissmässig kleiner seyn können; über das zweite aber wird Folgendes genügen. In jedes Zimmer, wenn es gehörig erwärmt seyn soll, muss während einer gegebenen Zeit eine gewisse Menge heisser Luft fliessen, um eine verlangte Temperatur herzustellen und bei dem unausgesetzt stattfindenden Verluste bleibend zu erhalten. Fände der letztere nicht statt, so wären die Bestimmungen leicht, da sich die erforderliche Menge der heissen Luft entweder durch grössere Weite der Canäle, oder durch schnelleres Strömen der Luft in denselben erreichen liesse. Um die Aufgabe deutlicher zu übersehen, nehmen wir ein Zimmer mittlerer Grösse von 20 F. Länge, 15 F. Breite und 12 F. Höhe, in welchem sich also $20 \times 15 \times 12 = 3600$ Kubikfuss Luft befinden. Hätte diese eine Temperatur von 4^0 und sollte sie bis 12^0 erwärmt werden, so müssten 1800 Kubikfuss dieser Luft abfliessen, und eben so viel von 20^0 Wärme einströmen, um die verlangte mittlere Temperatur zu erhalten. Ueberhaupt darf man nur die Menge der in einem Zimmer vorhandenen Luft, weniger der zugeführten, mit den Graden ihrer Temperatur multipliciren, die Menge der zuströmenden, mit den Graden ihrer Temperatur multiplicirt, hinzuzählen, und durch die Menge der dann vorhandenen Luft dividiren, um die erzeugte mittlere Temperatur zu finden. Strömten z. B. in das gegebene Zimmer 800 Kubikfuss Luft von $44\frac{1}{2}$ Grad Wärme, so blieben 2800 Kubikfuss, und es gäben $2800 \times 4 = 11200$ und $800 \times 44\frac{1}{2} = 35600$ zusammengezählt 46800, welche durch

3600 getheilt eine mittlere Temperatur von 13° geben. Aus diesen Beispielen geht hervor, dass die Hitze der zugeführten Luft vom grössten Einfluss ist, und die Weite der Canäle daher nicht so sehr in Betrachtung kommt. Wenn man daher auf die Leichtigkeit ihrer Construction, namentlich aus Holz, Rücksicht nimmt, so lässt sich annehmen, dass solche von $^1/_4$ bis höchstens $^1/_2$ Quadratfuss innerer Weite für alle Zwecke genügen werden. Ist aber die Weite der Canäle, welche die Luft zuführen, und die Geschwindigkeit der Luftströmung bekannt, so wird die Menge der in einer gegebenen Zeit gelieferten Luft leicht gefunden. Das hierbei übliche Zeitmaass ist die Secunde mittlerer Sonnenzeit, die unsere richtig gehenden Uhren geben, und wenn also die Weite des Canals $^1/_2$ Fuss beträgt, die in ihm strömende Luft aber 2 Fuss in einer Secunde zurücklegt, so fliessen in jeder Minute 60 Kubikfuss, in jeder Stunde aber 3600 Kubikfuss Luft aus. Die Geschwindigkeit der in den Canälen bewegten Luft durch Messung zu finden, wäre sehr schwierig, weit leichter dagegen gelangt man durch Rechnung zum Ziele, die auf sehr genaue Versuche gegründet ist. Die Luftsäulen fallen oder steigen in den Canälen je nach ihrem grösseren oder geringeren Gewichte, und letzteres erhalten sie durch die Wärme, die Geschwindigkeit selbst aber kann nicht anders als mittelst einer Formel gefunden werden, in welche man die jedesmal vorhandenen Grössen zu setzen hat. Verzichten wir auf absolute, hier ohnehin kaum nöthige, Genauigkeit, nehmen wir zur grösseren Vereinfachung dieser immerhin etwas verwickelten Aufgabe an, dass der in 1 Secunde von einem frei fallenden Körper durchlaufene Raum 16 rhein. Fuss betrage, was um etwas zu viel ist, so giebt die Formel:

$v = \frac{t-t'}{220} 4 \sqrt{h}$ die Geschwindigkeit v in rheinischen Fussen in 1 Secunde, wenn $t-t'$ den Unterschied der Temperaturen und h die Höhe in Fussen bezeichnet. Dieses gründet sich darauf, dass die Luft so viel leichter ist, als sie durch den Unterschied der Temperatur ausgedehnt wird, und also mit einer den Quadratwurzeln der Höhe proportionalen Geschwindigkeit fällt,

wenn sie kälter ist, und steigt, wenn sie wärmer ist. Die Ausdehnung der Luft beträgt zwar für jeden Thermometergrad $\frac{1}{213}$ (§. 135), wir haben aber mit Rücksicht auf die ohnehin nicht wohl erreichbare absolute Schärfe der Bestimmung zur leichteren Berechnung $\frac{1}{210}$ gewählt. Ein Beispiel wird die Anwendung der Formel zeigen, deren Schwierigkeit bloss in der Ausziehung der Quadratwurzel liegt. Beträgt also die Wärme der äusseren Luft 4°, die der im Canale aufsteigenden 40°, so ist $t - t' = 36$, und wenn dann der Canal von seiner Oeffnung in der Heizkammer bis zu seiner Mündung oben im Zimmer 36 Fuss Höhe hat, so ist $\sqrt{36} = 6$. Hiernach ergiebt sich die Geschwindigkeit in 1 Secunde: $v = \frac{36}{210} \times 4 \times 6$ oder $\frac{36}{210} \times 24 = \frac{864}{210} = \frac{816}{55} = 3\frac{51}{55}$ Fuss, wofür man unbedenklich in runder Zahl 4 setzen kann. Hiernach würden also aus einem $^1/_2$ Quadratfuss weiten Canale in jeder Secunde 2 Kubikfuss Luft, also in 1 Stunde 7200 Kubikfuss ausströmen. Auf die Hindernisse dieser Bewegung ist bereits Rücksicht genommen; ist aber der Canal beträchtlich geneigt, oder befinden sich in ihm horizontale Strecken, so wird dadurch die Geschwindigkeit etwas verringert. Ganz auf gleiche Weise lässt sich auch die Menge der aus einem Zimmer durch einen Ventilator abfliessenden Luftmenge finden, auch beruhet hierauf das Aufsteigen der erwärmten Luft und des an sich schwereren, aber durch die wärmere Luft mit fortgeführten, Rauches in den Schornsteinen, und schon aus diesem Grunde war es räthlich, diese Aufgabe, obgleich sie wegen der unvermeidlichen Ausziehung der Quadratwurzel zu den schwierigern gehört, hier nicht zu übergehen.

102) Bisher sind die Hauptgesetze der Heizung angegeben worden; einiges Nachdenken zeigt aber sofort, dass noch verschiedene, sehr wesentliche Bedingungen in Betracht kommen müssen. Dahin gehört in Beziehung auf die letzten Erörterungen schon der Umstand, dass die Temperaturen der umgebenden und der aufsteigenden Luft stets wechseln, wodurch denn ihr Unterschied und das Resultat der hierauf beruhenden Rechnung veränderlich wird. Man sieht ferner, dass die gefundene Geschwindigkeit von 4 Fuss

in 1 Secunde schon zu den beträchtlichen gehören muss, denn die Temperatur der kalten Luft ist zwar nicht eben niedrig und die der heissen keineswegs sehr hoch angenommen, die Höhe des Canals aber ist für das Erdgeschoss in den meisten Fällen zu gross und wohl für den zweiten Stock über demselben am meisten geeignet; dennoch aber ist die gegebene Luftmenge bedeutend gross, und würde den ganzen Inhalt des beispielsweise angenommenen Zimmers binnen 1 Stunde zweimal erneuern. Aus diesem allen ergiebt sich, dass die Geschwindigkeit keineswegs unter die kleinsten gehören kann. Wenn man aber überlegt, dass eine Luftbewegung von der doppelten Geschwindigkeit kaum als Wind fühlbar ist, so begreift sich leicht, wie ein dem Zuge der Luftheizung entgegenströmender Wind jene leicht aufheben und sogar in umgekehrter Richtung bewegen kann, woraus dann folgt, dass man die Luftheizung gegen die Einwirkung einer ihr entgegengerichteten Strömung gehörig abschliessen müsse.

103) Um das ganze Problem der Heizung vollständig zu kennen, wäre vor allen Dingen nothwendig, die Menge der wieder abgeleiteten, und dadurch verschwindenden, Wärme genau zu bestimmen, denn alsdann würde es leicht seyn, die Menge der durch Oefen zu erzeugenden oder durch Luftheizung herbeizuführenden Wärme bestimmt anzugeben. Wenn sich aber schon bei den zuletzt mitgetheilten Untersuchungen nicht geringe Schwierigkeiten zeigten, die völlig scharfe Angaben hinderten, so zeigen sich diese in Beziehung auf die Ableitung der Wärme in solcher Menge und von solcher Grösse, dass es zur Unmöglichkeit wird, sie vollständig zu beseitigen, weswegen auch selbst die mit den Gesetzen der Wärme innigst vertrauten Physiker nicht im Stande sind, bei einem gegebenen Zimmer mit Sicherheit zu entscheiden, ob sich dasselbe leicht oder schwer heizen lässt. Hierüber kann bloss die Erfahrung entscheiden, die oft ganz andere Resultate giebt, als welche man erwartete, weswegen denn auch hier nur einige allgemeine Bestimmungen am rechten Orte seyn werden. Ein bedeutender Wärmeverlust entsteht durch die in jedem Zimmer zahlreich vorhandenen Risse, durch welche, wenn sie tiefer liegen,

die äussere kalte Luft einströmt, wenn sie höher liegen, die innere erwärmte abfliesst. Dass eine solche, den Meeresströmen gleichende, entgegengesetzte Strömung der kalten und warmen Luft stattfinde, zeigte schon *Franklin* durch sein bekanntes Experiment, wonach man eine Thür oder ein Fenster etwas öffnet und eine Lichtflamme oben und unten hinhält, um sich zu überzeugen, dass die Flamme oben nach aussen, unten nach innen durch den Luftstrom getrieben wird. Wie bedeutend aber die Masse der von aussen in ein geheiztes Zimmer eindringenden Luft sey, geht schon daraus hervor, dass durch die grösste Menge der in einen gut ziehenden Windofen stets einströmenden Luft nie ein Mangel im Zimmer entsteht. Hierauf beruhet grossentheils die leichtere oder schwerere Heizbarkeit der Zimmer, worauf zugleich die jedesmalige Richtung des Windes, und wie sehr namentlich die Fenster dieser ausgesetzt sind, einen bedeutenden Einfluss ausübt. Die Scheiben der Glasfenster entziehen den Zimmern eine grosse Wärmemenge, nicht sowohl weil das Glas diese leicht durchlässt, als vielmehr weil sie sehr dünn sind. Eben daher ist das Sitzen am Fenster solchen Personen, die zu rheumatischen Uebeln geneigt sind, leicht nachtheilig, denn selbst wenn die Fenster genau schliessen, und also nicht viele Luft einströmen lassen, was nicht stets der Fall zu seyn pflegt, verliert die an ihnen liegende Luft ihre Wärme, wird dadurch abgekühlt, und sinkt dann wegen ihres grösseren Gewichtes herab. Nach Versuchen bringen Doppelfenster den durch einfache gegebenen Wärmeverlust bis auf ein Drittel herab. Durch die Wandungen, den Fussboden und hauptsächlich die Decken, weil die warme Luft aufsteigt, verlieren die Zimmer Wärme, und zwar um so mehr, je dünner sie sind, und je besser sie die Wärme durch sich dringen lassen. Gleiche Dicke vorausgesetzt lässt Holz am wenigsten, ungebrannter Lehm und Mörtel, sowie eine Mauer aus gut gebrannten trockenen Backsteinen weniger, aus Bruchsteinen am meisten die Wärme durch, zumal dann, wenn die Sandsteine an der Nordseite der Berge gebrochen sind und leicht feucht werden. Lockere Kalksteine und Kalktuff sind in dieser Beziehung den

festeren Steinen vorzuziehen. Aus dieser Ursache sind die hölzernen Häuser in Polen und Russland sehr warm, und Strohdächer haben einen Vorzug vor den steinernen oder metallenen, weil sie im Winter die Kälte, im Sommer die Hitze am besten abhalten, wären sie nur der Feuersgefahr nicht allzusehr unterworfen.

104) Ist ein erwärmter Körper überall von Luft umgeben, so verliert er in Folge des allgemeinen Bestrebens der Wärme, sich überall ins Gleichgewicht zu setzen, seine Wärme allmälig, theils durch Strahlung, theils durch die Luft, die bei ihrer Berührung einen Theil aufnimmt und bei ihrem Aufsteigen fortführt. Befindet sich der Körper im leeren Raume, so kann bloss die Strahlung wirksam seyn; er wird daher sehr langsám erkalten. Indess wollen wir diese Untersuchungen übergehen, weil sie zwar von hohem, jedoch bloss wissenschaftlichem, Interesse sind. Die Wärme kann bloss von der Oberfläche abgegeben werden, welcher dann von den nächsten Schichten, und sofort bis zum Centrum, neue wieder zugeführt werden muss, die Oberfläche aber wird so viel mehr abgeben, je höher ihre Temperatur über der der Umgebung steht. Nehmen wir beides zusammen, so erfordert das Erkalten eines Körpers um gleiche Wärmegrade so viel längere Zeit, je grösser seine Masse und je geringer seine Wärme ist, die letzten Theile seiner überschüssigen Wärme wird er erst in sehr langer Zeit verlieren. Die Erfahrung bestätigt dieses in zahlreichen Fällen. Zieht man einen dünnen glühenden Draht aus dem Feuer, so wird er fast augenblicklich dunkel, ein glühender Bolzen aber verliert seinen Schein erst nach geraumer Zeit, und wenn eine grössere Masse Flüssigkeit schneller erkalten soll, so vertheilt man sie in mehrere kleine Gefässe, auch verliert die Oberfläche unserer Erde ihre im Sommer aufgenommene Wärme langsam, weswegen die grösste Kälte meistens erst gegen Ende Januars einzutreffen pflegt. Man hat hierbei an eine Abkühlung unserer ganzen Erde gedacht, für deren einstmalige höhere Temperatur Gründe aus dem Vorhandenseyn der Versteinerungen tropischer Thiere in gemässigten Klimaten Beweise geben (§. 35). Nach den angegebenen Gesetzen würde eine totale Temperaturverminderung

unserer Erde bei ihrer Grösse eine unberechenbar lange Zeit erfordern, jedoch führt uns diese Betrachtung zu so vielen und grossen Schwierigkeiten, dass uns deren Würdigung nur bescheiden und vorsichtig gegen jede voreilige Bestimmung machen kann.

105) Bei der Untersuchung der Abkühlungsgesetze der Körper kommen vorzüglich die Oberflächen derselben und zugleich ihre eigenthümliche Beschaffenheit in Betrachtung. Sofern die Wärme von den Oberflächen abgegeben wird, muss die Abkühlung so viel schneller erfolgen, je grösser diese im Verhältniss zur Masse sind; ein dünnes Blech wird daher schneller erkalten, als ein massiver Körper, die Kugel aber unter allen Formen am langsamsten, weil sie für gleich grosse Massen die geringste Oberfläche darbietet. Der Einfluss der Oberfläche ist bereits (§. 91) gewürdigt; in Beziehung auf die Beschaffenheit der Körper folgt wohl aus der Natur der Sache, dass sie um so langsamer erkalten, je mehr Masse sie bei gleichem Rauminhalte haben und je grösser die Menge der ihnen eigenthümlich zugehörigen Wärme ist, was man ihre specifische Wärmecapacität nennt (§. 118). Aus diesem Gesetze folgt, dass lockere Körper schneller erkalten, als dichtere, und so würden auch thönerne Oefen ihre geringere Wärmemenge schneller abgeben, als eiserne, wenn nicht die letzteren aus anderen Gründen von weit geringerer Masse seyn müssten.

106) Bei den bisherigen Untersuchungen war zunächst nur die Rede von der Abgabe der Wärme, von der Abkühlung; es liegt aber in der Natur der Sache, dass das nämliche Verhalten auch im umgekehrten Falle stattfinden muss, wenn ein kälterer Körper Wärme von aussen aufnimmt. Da hierbei dieselben Gesetze gelten müssen, so ist eine weitere Erörterung überflüssig. Wir können zugleich einen Schritt weiter gehen, und da bisher nur diejenigen Fälle berücksichtigt wurden, bei denen die Körper sich in der Luft befinden, auch diejenigen untersuchen, bei denen sie von andern, namentlich tropfbar flüssigen, und auch festen Körpern umgeben sind. Tropfbar flüssige Körper bieten auf allen Fall eine innigere Berührung dar, und da sie wegen ihrer weit

grösseren Dichtigkeit ungleich mehr Wärme aufzunehmen vermögen, so werden die Körper in ihnen weit schneller erkaltet oder erhitzt werden. Unter allen Körpern bedarf das Wasser, wenn man zugleich die Dichtigkeit oder die vorhandene Masse berücksichtigt, die grösste Menge Wärme, um eine höhere Temperatur anzunehmen, oder es hat die grösste specifische Wärmecapacität (§. 118); es wird daher, wenn kälter, so viel mehr Wärme aufnehmen, und wenn wärmer, so viel mehr abgeben, als seine specifische Wärmecapacität grösser ist. Das Quecksilber entzieht den Körpern, insbesondere den Metallen, wenn es mit ihnen durch Zerfliessen in genaueste Berührung kommt, schnell eine Menge Wärme; alle Körper müssen daher in diesen und in den tropfbaren Flüssigkeiten überhaupt schneller erkalten, als in der Luft, oder selbst auch in halbflüssigen und lockeren Körpern, die sie umgeben, als Sand, Asche, Pulverarten, Baumwolle, Werg und dergleichen, worauf denn auch die (§. 63) erwähnte Erhaltung glimmender Kohlen unter der Asche beruhet. Hierin liegt zugleich der Grund, weswegen bei strenger Kälte die nassen Hände am Eisen oder sonstigen Stücken Metall sofort festfrieren, wohin denn auch das im nördlichen Teutschland so genannte Klinkenlecken gehört. Bringt man nämlich bei anhaltender Kälte, die etwas dauernd unter 10^0 bis 12^0 gestanden hat, an den Drücker (die Klinke) einer der freien Luft ausgesetzten Thür die nasse Zunge, so gefriert deren Haut augenblicklich an der Oberfläche, und wird beim Zurückziehen bis zur Blutung abgerissen; was mitunter zu einem gewiss nicht feinen Scherze bei der Sache Unkundigen benutzt wird. Bei anhaltender starker Kälte werden die Befestigungshaken der Fenster und sonstige eiserne Halter, die von aussen durch die Wandungen bis ins Innere der Zimmer geführt sind, inwendig mit lockeren Eisnadeln überzogen, weil sich an ihrer sehr kalten, die Wärme schnell in sich aufnehmenden Oberfläche der Wasserdampf der Luft anlegt und zu feinen Krystallen gefriert. Auf einem ähnlichen Grunde beruhet das bekannte Gefrieren der Fenster; denn obgleich die Wärme keineswegs sehr Gierig in Glas einströmt, als in Metall, so sind dage-

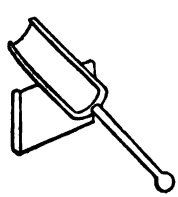
gen die Glasscheiben dünn, geben daher die Wärme nach aussen schnell ab, entziehen sie leicht dem ihre innere Fläche berührenden Wasserdampfe, und bieten dem daraus niedergeschlagenen Wasser eine Oberfläche dar, auf welcher sich die Eiskrystalle zu schönen Formen gruppiren. Tritt nach lang dauernder Kälte plötzlich Thauwetter ein, so überziehen sich die Mauern mit Reif und selbst dickem Eise, weil die Steinmassen begierig die Wärme aufnehmen, aber anfänglich noch kalt genug bleiben, um das aus der dann sehr feuchten Luft auf der Oberfläche niedergeschlagene Wasser gefrieren zu machen. Es liessen sich noch weitere zahlreiche Erscheinungen beibringen, in denen sich die ungleich begierige Aufnahme der Wärme durch die verschiedenen Körper zeigt, wie denn unter andern bei den (§. 79) erwähnten Versuchen des Ertragens grosser Hitze die Menschen wohl in der heissen Luft ausdauern konnten, weniger leicht aber in zugleich sehr feuchter, ausserdem aber weder ihre eigenen Uhrketten, noch in den Zimmern vorhandenes Quecksilber oder sonstiges Metall berühren durften; allein dieses alles erklärt sich leicht aus den einmal aufgestellten allgemeinen Gesetzen. Befinden sich in einem kalten Zimmer, wir wollen annehmen auf einem Tische, Körper verschiedener Art, so zeigt das Thermometer, dass sie alle die nämliche Temperatur haben, vorausgesetzt, dass sie sich hinlänglich lange Zeit neben einander befanden; bei der Berührung aber erscheinen sie dem Gefühle ungleich warm, und namentlich würden wollene, baumwollene und leinene Zeuge warm, Hölzer etwas weniger, unglasirte Erdenwaaren noch weniger, Metalle aber kalt zu seyn scheinen.

107) Bei den bisherigen Untersuchungen wurde vorzugsweise nur die Oberfläche der Körper in Beziehung auf die Aufnahme und Abgabe der Wärme durch dieselbe, weit weniger dagegen deren innere Beschaffenheit berücksichtigt, der Einfluss, der zwischen der einen und der entgegengesetzten Oberfläche derselben liegenden Theile aber gänzlich vernachlässigt. Ehe wir indess hierzu übergehen, müssen wir noch zwei merkwürdige Wärmephänomene näher beleuchten. Das erste von diesen ist die soge-

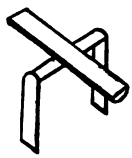
nannte Unverbrennlichkeit der menschlichen Haut, indem Menschen zuweilen namentlich glühendes Eisen ungestraft mit ihren Händen und Fusssohlen berühren, und da dieses mit demjenigen sehr genau übereinstimmt, was uns über die Ordalien der früheren Zeit berichtet wird, so verdient die Sache allerdings eine nähere Betrachtung. Ohne hier in eine Prüfung einzugehen, was es mit jenen Gottesurtheilen für eine Bewandtniss gehabt habe, da dieses ohnehin in ein tiefes historisches Dunkel gehüllt ist, so wissen wir gewiss, dass man sie jetzt verlassen hat. Halten wir uns bloss an die von glaubhaften Zeugen erzählten Beispiele anscheinend vorhandener Unverbrennlichkeit, so sind diese allerdings in hohem Grade auffallend. *Wollaston* berichtet gesehen und ohne Nachtheil versucht zu haben, ein glühendes Eisen über die Zunge zu streichen, die dann aber ganz nass seyn müsse. *Tilloch* erzählt dieses nämliche von einem Bleiarbeiter mit dem Zusatze, es sey hierbei Rothglühhitze erforderlich, und die Zunge müsse nass seyn; dagegen aber tauchte ebenderselbe seinen Finger in geschmolzenes Zinnblei mit dem Bemerken, der Finger müsse trocken seyn, weil sonst Metalltheile hängen blieben und Brandblasen erzeugten. *Lichtenberg* erzählt von einem Arbeiter, dass er geschmolzenes Kupfer mit der Hand ausschöpfte, und sich für dieses Kunststück bloss dadurch vorbereitete, dass er die Hand vorher in die Achselhöhle legte, um sie feucht zu machen. Am meisten Aufsehen erregte im Anfange dieses Jahrhunderts ein von der spanischen Grenze stammender Franzose, welcher sich bald *Roger*, bald *Lionetto* nannte, und sich für unverbrennlich ausgab. Nach den Berichten glaubhafter Augenzeugen, namentlich des Münchener Akademikers *Gehlen*, bestand sein Hauptkunststück darin, dass er einen glühenden eisernen Haken über die Zunge strich, wobei man ein Zischen hörte, und dass er mit den Fersen auf eine glühende Eisenschiene trat. Allerdings pflegen auch wohl Schmiede mit der Hand über glühendes Eisen hinzufahren, allein sie haben eine dicke erhärtete Haut im Innern der Hand, und dann wird dieser Callus beim schnellen Hinfahren jederzeit zerstört; *Roger* aber

bog eine dicke, der Weissglühhitze nahe, Eisenstange durch die auf die glühende Stelle in der Mitte aufgesetzte, keinen Callus habende Fusssohle krumm, dann wieder gerade, und drehte sich dann auf derselben mit einem Fusse gestützt in einem ganzen Kreise herum, wobei die Eisenschiene in den vorher nass gemachten Fussboden, worauf sie lag, während der kurzen Zeit dieses Umdrehens eine ganze Linie tief einbrannte. Hiernach kann man kaum umhin, eine vorausgegangene Vorbereitung der Haut anzunehmen, um diese gegen das Eindringen der Wärme des Eisens zu schützen, wie auch *Roger* selbst, obgleich er es vor dem grossen Publicum leugnete, doch auf näheres Befragen angab. *Sementini* meint, dass die präparirende Flüssigkeit aus 1 Pfd. Alaun, 8 Loth Schwefelsäure und 4 Pfd. Wasser bestanden habe, und es ist allerdings richtig, dass man mit der Hand, wenn man sie wiederholt mit dieser Flüssigkeit gewaschen und wieder abgetrocknet hat, über eine glühende Eisenstange langsam ohne eigentliches Verbrennen hinfahren kann, wenn auch die äusserste Fläche der Oberhaut etwas zerstört wird. Das Präservativmittel muss also die Haut gegen die Aufnahme der Hitze schützen; gewiss aber ist zugleich, dass unter allen Metallen bloss das Eisen bei diesen Versuchen die Wärme nicht leicht abgiebt, denn nie wagte *Roger* irgend ein anderes glühendes Metall zu berühren.

108) Die zweite merkwürdige Erscheinung bietet ein Instrument dar, welches nach seinem Erfinder, einem gewissen *Trevelyan* aus Schottland, Trevelyan-Apparat, oder wegen seines Tönens Thermophon genannt wird. Der ursprüngliche Apparat bestand aus einem kupfernen Instrumente, mit einem messingenen Drahte und einer Kugel an dessen Ende, wie die Zeichnung angiebt, welches bis über die Siedehitze des Wassers erhitzt, und auf einen bleiernen Ring oder Klotz gelegt, in anhaltende Bebungen geräth, die einen ihrer Schnelligkeit proportionalen höheren oder tieferen Ton erzeugen, bis es allmälig erkaltend ruhet; doch beginnt es dann oder auch vorher wieder zu tönen, wenn man es mit irgend ei-



nem harten Körper stösst, vorausgesetzt, dass es noch den gehörigen Grad der Wärme besitzt. Ein anderer, noch interessanterer, Apparat besteht aus einem länglichten, 5 bis 6 Zoll langen, $1^1/_2$ Zoll breiten Stücke Kupfer, wie die Zeichnung angiebt, welches auf einem, durch zwei Füsse aus dickem Messingblech unterstützten, bleiernen Halbcylinder ruhend durch Erwärmung leicht und anhaltend tönt. Die Erklärung des Phänomens ist nichts weniger als leicht, doch dürfte es wohl am angemessensten seyn, anzunehmen, dass die Wärme, wenn sie aus dem erhitzten, sie stark fortleitenden Kupfer in das kalte, schwerer leitende Blei übergeht, einen Widerstand findet, welcher das leicht wackelnde Instrument, eben daher auch Wackler genannt, in die beobachteten Bebungen versetzt, die man noch sichtbarer machen kann, wenn man einen etwa 1 bis 2 Fuss langen Grashalm, ein Holzstäbchen, oder selbst eine Glasstange darauf legt.



109) Wird einem Körper Wärme zugeführt, die er dann nach den eben erläuterten Gesetzen leichter oder schwerer in sich aufnimmt, so muss diese in seinen inneren Theilen, vorausgesetzt, dass er eine gewisse Dicke habe, fortströmen, bis sie an der entgegengesetzten Seite wieder ausströmt. Berücksichtigen wir hierbei sowohl das Eindringen derselben, als auch ihr Ausströmen aus der entgegengesetzten Fläche, so müssen wir das Fortfliessen durch die zwischenliegenden Theile Durchleitung nennen; berücksichtigen wir aber den Fortgang in diesen Theilen, die wir uns vorläufig von unbestimmter Ausdehnung denken können, so müssen wir uns des Ausdrucks Fortleitung bedienen. Sofern aber letztere bei allen Körpern von einiger, wenn auch nicht grosser, Dicke vorkommt, mithin das allgemeinere ist, so wollen wir die Fortleitung der Wärme in den verschiedenen Körpern zuerst etwas näher betrachten.

110) Es ist in der That höchst merkwürdig, dass die Wärme, welche strahlend sich mit unmessbarer Geschwindigkeit bewegt, in den Körpern nur äusserst langsam fortschreitet, was sich nicht wohl anders als aus einer Anziehung der kleinsten Körpertheil-

chen gegen das Wärmefluidum erklären lässt. Vergleichen wir das Verhalten des Wärmefluidums mit dem des Lichtäthers und der Elektricität, so liegt es zwischen beiden in der Mitte, denn das Licht durchdringt die Körper mit Ausnahme der diaphanen, wovon hier eben so wenig als von den diathermanen (§. 89) die Rede ist, gar nicht, die Wärme sehr langsam, die Elektricität mit unmessbarer Geschwindigkeit. Schliessen wir die Strahlung aus, von der das Nöthige gesagt worden ist, so soll die Wärme den leeren Raum gar nicht durchdringen, ja es soll in demselben überall keine Wärme vorhanden seyn. Man folgerte dieses daraus, dass durch plötzliches Eindringen des Quecksilbers in einen leeren Raum keine Wärme frei werde, wie durch Compression aller, auch der lockersten Körper, namentlich der Luft (§. 37). Widerlegen lässt sich diese Folgerung nicht, weil sich kein Körper ohne eine Verbindung mit aussen bleibend in einem leeren Raume erhalten lässt, um die Einwirkung der Wärme auf denselben zu beobachten, und wenn dieses auch möglich wäre, jede Veränderung der Wärme bei ihm aus der Strahlung abgeleitet werden könnte. Auf der andern Seite ist der Satz damit noch keineswegs vollständig bewiesen; als gewiss darf aber gelten, dass die Wärme sich im luftleeren Raume sehr langsam bewegt, dieser also für einen schlechten Wärmeleiter gelten kann, wie denn überhaupt alle Körper die Wärme so viel schlechter leiten, je lockerer sie sind. Umfasst man mit der Hand eine sogenannte Knallbombe, eine an der Lampe aus dünnem Glase geblasene Kugel von der Grösse einer kleinen Wallnuss, die noch glühend, also mit sehr dünner Luft oder gar mit etwas später niedergeschlagenem Wasserdampfe erfüllt, zugeblasen ist, und daher beim Zerplatzen auf dem Boden wegen der eindringenden Luft stark knallt, so hat man bald das Gefühl, als ob die Kugel sich erhitze. Die Ursache hiervon liegt darin, dass das dünne Glas der Hand sehr wenig, der innere leere Raum der Kugel ihr so gut wie gar keine Wärme entzieht, die stets neu erzeugte daher nicht, wie gewöhnlich, abgeleitet wird, mithin äussere zugeführt zu werden scheint.

111) Es machte nicht geringes Aufsehen, als *Rumford* gegen Ende des letzten Jahrhunderts den anscheinend paradoxen Satz aufstellte, die Flüssigkeiten seyen absolute Nichtleiter der Wärme, und diese bewege sich in ihnen überall nicht. In Beziehung auf die ohnehin stets sich bewegende Luft war diese Behauptung weniger auffallend, desto mehr aber musste dieses der Fall seyn, sofern die Behauptung auch auf die tropfbaren Flüssigkeiten ohne Ausnahme ausgedehnt wurde. *Rumford* war ein zu guter Physiker, als dass er die gemeine Erfahrung übersehen konnte, wonach die Flüssigkeiten in Gefässen durch eine untergestellte Flamme auch oben, und noch dazu dort am ersten, warm werden, vielmehr zeigte er durch die überzeugendsten Versuche, dass die Wärme den entfernter liegenden Theilen durch die von den erhitzten Wandungen, namentlich dem Boden der Gefässe, aufsteigenden Masse zugeführt werde, was er aus der Bewegung kleiner, in den Flüssigkeiten schwimmenden Körperchen nachwies, wie nicht minder, dass die Wärme auch herabwärts durch die Wandungen der Gefässe geleitet werden könne. Dass dieses Aufsteigen der erwärmten Flüssigkeitstheilchen, dem das Herabsinken der kälteren entgegensteht, vorzugsweise dazu diene, die Wärme durch die Massen einseitig erwärmter Flüssigkeiten zu verbreiten, die sich in ungleich warmen Schichten über einander lagern, und daher unter Umständen stets umgerührt werden müssen, wenn man gleichmässige Verbreitung der Wärme verlangt, was beim Sieden durch das Aufwallen von selbst erfolgt, dieses war unschwer zu beweisen, und es handelte sich daher nur um die Beantwortung der wissenschaftlich interessanten Frage, ob ausserdem nicht noch eine Fortleitung der Wärme durch Flüssigkeiten stattfinde, und diese Körper sich also durch eine solche Eigenthümlichkeit von allen andern unterschieden. Es bedurfte einer grossen Menge sehr künstlicher Versuche, und die verschiedensten Gelehrten ermüdeten nicht, solche anzustellen, bei denen das Aufsteigen der erwärmten Theile, sowie der Einfluss der leitenden Wandungen gänzlich vermieden, die wärmere Masse dagegen stets oben und bloss von Flüssigkeiten umgeben

erhalten, die Wärme der niedrigern Schichten aber gemessen wurde, und man darf wohl sagen, dass erst neuerdings die Wärmeleitung der Flüssigkeiten, aber eine höchst geringe und langsam fortschreitende, übrigens gleichen Gesetzen, als die der festen Körper unterliegende entschieden bewiesen ist. Dieses Wärmeleitungsvermögen kommt übrigens bei der Verbreitung der Wärme durch flüssige Massen in Vergleichung mit der durch das Aufsteigen bewirkten so ungemein wenig in Betrachtung, dass es überflüssig ist, dessen ungleiche Grösse bei den verschiedenen Flüssigkeiten nur einmal aufzusuchen.

112) Vom ungleichen Wärmeleitungsvermögen fester Körper überzeugt man sich durch eine Menge alltäglicher Erfahrungen. Ein am einen Ende glühender Holzspahn, oder eine Kohle, kann in etwa $^1/_2$ Zoll Entfernung von der Stelle des Glühens ohne Nachtheil zwischen den Fingern gehalten werden, eben so eine etwa 2 Linien dicke Glasstange in 2 Zoll Abstand, ein gleich dicker Metalldraht aber kaum in 6 Zoll. Dabei ist die Dicke von bedeutendem Einfluss, aus dem leicht begreiflichen Grunde, weil die erhitzte Stelle gleichzeitig einen Theil Wärme nach aussen abgiebt, während ein anderer der Länge nach weiter strömt; die Abgabe der Wärme nimmt aber mit der Grösse der Oberfläche zu, und diese letztere ist verhältnissmässig gegen die in sie eingeschlossene Masse so viel grösser, je dünner der Körper ist. Einen etwa 1 Zoll dicken Eisendraht von 12 Zoll Länge würde man am einen Ende nicht ohne Nachtheil mit der Hand berühren dürfen, wenn er am andern glühend wäre, dagegen kann man einen Clavierdraht Nr. 12 von kaum 2 Zoll Länge zwischen den Fingern gehalten am einen Ende in einer Kerzenflamme zum Glühen bringen (§. 72). Uebrigens wird die Wärme selbst in Metallen nur langsam fortgeleitet, und entfernt sich daher verhältnissmässig nicht sehr weit von der erhitzten Stelle, während sie unablässig von den Oberflächen abgegeben wird, und nach Versuchen würde es unmöglich seyn, eine etwa 7 Fuss lange Eisenstange am einen Ende so stark zu erhitzen, dass sie am andern nur 1^0 höhere Wärme zeigte, als ihre Umgebung. Für et-

was dickere Stangen soll sich das Leitungsvermögen durch folgende, ihr Verhältniss bezeichnende, Zahlen ausdrücken lassen:

Gold	10,000	Zinn	3,039
Platin	9,810	Blei	1,796
Silber	9,730	Marmor	236
Kupfer	8,920	Porcellan	122
Eisen	3,713	Erdenmasse	114
Zink	3,630		

Ungleich schlechter leiten Hölzer, die harten besser als die weichen, auch besser nach ihren Längenfibern, als nach deren Querschnitten. Die vor etlichen Jahren aufgestellte Behauptung, die Wärme verbreite sich schneller durch Metallstangen, wenn man das erhitzte Ende in kaltes Wasser tauche, hat sich nach genauen Versuchen nicht bestätigt, und beruhet auf der merkwürdigen Täuschung, dass man nach dem Eintauchen in kaltes Wasser eine schnellere Abkühlung erwartet, die aber nicht erfolgt, weil die angenommene Wärme, ungeachtet der Abkühlung des heisseren Endes, in der Stange fortströmt. Auch die zuweilen geäusserte Meinung, die Wärme steige in Metalldrähten schneller aufwärts, als abwärts, ist nach Versuchen, die ich selbst darüber angestellt habe, ungegründet.

113) Von noch grösserer Wichtigkeit ist das Wärmeleitungsvermögen, wenn es sich um die zweite (§. 109) genannte Modification, die Durchleitung, handelt, wobei die Wärme in die Masse eines Körpers eindringt, durch diese fortströmt und an der andern Seite wieder zum Vorschein kommt, weswegen auch die Physiker diese Aufgabe viel und mit vorzüglicher Genauigkeit behandelt haben. Versparen wir die Untersuchung derjenigen Körper, welche zugleich die Licht- und Wärmestrahlen durchlassen, bis auf einen andern Ort (§. 116), berücksichtigen wir dagegen vorläufig die gewöhnlichen dunkeln Körper, und nehmen wir ferner an, dass diese eine gewisse Dicke haben, wonach also die so eben erörterte Fortleitung der Wärme in der vorhandenen Masse in Betrachtung kommt, so gilt im Allgemeinen das bereits angegebene Gesetz, dass die lockersten Körper, insbesondere

solche, bei denen die Wärme abwechselnd durch kleine Lufträume und Körpertheilchen dringen muss, zugleich die schlechtesten Durchleiter der Wärme sind, und zwar die letzteren noch schlechtere als selbst die trockene Luft, die übrigens zu den schlechtesten Leitern gehört, wie die sogenannten Luftkissen, lockere, mit Luft aufgeblasene, Hüllen zeigen. Man hat bei dem Hospitium auf dem St. Bernhard hiervon eine nützliche Anwendung gemacht, und dem Gebäude doppelte Wände mit einem zwischenliegenden Luftraume gegeben. Hierauf beruhet auch die Wirkung der Doppelfenster (§. 103). Um das Durchleitungsvermögen der verschiedenen Metalle, des Marmors, Elfenbeins, Holzes und Leders zu ermitteln, verfertigt man gleich grosse Gefässe, füllt sie mit Wasser von gleicher Temperatur, senkt in jedes ein Thermometer, umgiebt sie mit siedendem Wasser in einem gemeinschaftlichen Behälter, in welchem sie stehen, und misst die Temperaturen, welche die einzelnen Thermometer nach gleichen Zeiträumen von etwa 30 Secunden zeigen, wobei denn diejenigen Thermometer am meisten vorauseilen, deren Gefässe der durchströmenden Wärme die geringsten Hindernisse in den Weg legen. Richtigere Resultate werden erhalten, wenn man in das Centrum gleich grosser Kugeln aus den verschiedensten Materien die Gefässe möglichst gleicher Thermometer bringt, den Kugeln von aussen in einem Wasserbade, in einem Sandbade oder in erhitztem Quecksilber Wärme zuführt, und die Zeiten misst, während welcher die Thermometer gewisse höhere Grade erreichen, oder umgekehrt diejenigen, während welcher sie nach der Erwärmung in einem freien, Luftströmungen nicht ausgesetzten, Raume aufgehangen bis zu einer wenig über die der Umgebung hinausgehenden Temperatur herabsinken. Lockere und staubartige Körper, als Wolle, Seide, Asche, Feilspähne, Pulverarten u. s. w., schliesst man zu demselben Zwecke in gleich grosse hohle Glaskugeln ein, und verfährt mit diesen auf gleiche Weise.

114) Es unterliegt keinem Zweifel, dass diejenigen Körper die Wärme am schlechtesten leiten, also die von ihnen umschlossenen Körper eben so sehr gegen das Erkalten schützen,

als auch die von aussen zu ihnen eindringende Wärme abhalten, in denen das von ihnen umhüllte Thermometer am spätesten erkaltet, wenn es vorher erhitzt war, oder in warmer Umgebung bis zu gewissen Graden steigt. Weil aber bei den Versuchen mancherlei anderweitige Bedingungen einen merklichen Einfluss ausüben, z. B. ob die bei den Versuchen angewandten Substanzen fester oder lockerer zusammengeballt sind, so genügen die bis jetzt gewonnenen Resultate noch nicht, um die grosse Anzahl der in dieser Beziehung wichtigen Körper nach ihrem ungleichen Leitungsvermögen zu ordnen; inzwischen lässt sich das letztere wenigstens von einigen durch folgende Verhältnisszahlen ausdrücken, welche die Stärke des Widerstandes gegen den Durchgang der Wärme bezeichnen:

Hasenhaare	1315	Feine gezupfte Leinwand	1032
Eiderdaunen	1305	Wollgarn	934
Biberhaare	1296	Nähseide	917
Rohe Seide	1248	Leinengarn	873
Gezupfte Seide . . .	1169	Baumwollengarn . . .	852
Schafwolle	1118	Leinwand	783
Baumwolle	1046	Luft	576

Von sonstigen bekannten Körpern verdienen als schlechte Leiter, oder solche, welche die Wärme nur sehr langsam durch sich dringen lassen, vorzugsweise Bärlapsaamen oder das sogenannte Streupulver, Lampenruss, trockene Holzasche und gepulverte Kohle genannt zu werden, von denen die erste Substanz die folgenden an schlechter Leitungskraft bedeutend übertrifft.

115) Die Theorie der hier erörterten Erscheinungen darf wohl als nicht eben schwierig gelten; denn wie wir uns auch das Fortfliessen des angenommenen Wärmefluidums im Innern der verschiedenen Körper denken mögen, so folgt stets, dass dasselbe desto mehr verzögert werden müsse, je häufiger der Uebergang aus festen Körpertheilchen in Lufträume und umgekehrt, wechselt. Hieraus wird dann leicht klar, warum feingezupfte Leinenfäden so schlecht leiten, da bekanntlich dicht geschlagene feine Lein-

wand im Sommer Kühlung gewährt, weil sie die Wärme des menschlichen Körpers leicht, und viel leichter, als die lockeren Baumwollengarne durchlässt. Desto zahlreicher sind die wichtigen Anwendungen, die man von dieser Eigenschaft der Körper macht, wovon einige der vorzüglichsten anzugeben hier genügen wird. Zunächst verdienen diejenigen Stoffe Beachtung, die wir zur Bekleidung benutzen, denn wenn man auch gewöhnlich sagt, die Kleider erwärmten den Menschen, so findet doch eigentlich das Gegentheil statt, sofern alle Zeuge früher oder später die Temperatur der Umgebung annehmen, als Hüllen des menschlichen Körpers aber von diesem erwärmt werden, die aufgenommene Wärme dann nur langsam durchlassen, und daher den Körper gegen zu starke Erkaltung schützen. Zu den stärksten Nichtleitern gehören die Eiderdaunen (Flaumfedern der Eidergans); sie geben daher die wärmsten Betten, werden in Russland zu Wattirungen der Damenmäntel gebraucht, und übertreffen dann wegen Leichtigkeit und Erwärmung das kostbarste Pelzwerk. Seidene Zeuge, bei gleicher Dicke und Lockerheit, wärmen besser als andere, das zarteste und lockerste Pelzwerk ist unter allen das beste, doch kommt zugleich seine Dicke, also die Grösse des Raumes, in Betrachtung, welchen die Wärme durchdringen muss, bis sie an die äussere Luft übergeht. Um die Ableitung der Wärme zu verhindern, umwickelt man die Steigbügel im Winter mit Stroh, legt Bretter auf feuchten Boden oder Steine, der Schnee schützt die Feldfrüchte, ja sogar die Füsse der Jäger gegen das Erfrieren, und die Bewohner nördlicher Gegenden bauen unter ihm ihre Winterhütten. Hierbei zeigt sich übrigens eine Abweichung von der allgemeinen Regel, wornach die lockersten Körper am schlechtesten leiten; denn wirklich ist der Schnee ein besserer Leiter als das Eis; man schützt daher die Keller gegen das Eindringen der Kälte, wenn man ihre Oeffnungen mit etwas Stroh verschliesst, und über dieses mit einer Giesskanne Wasser giesst, das sich bis zur Dicke von etlichen Zollen in Eis verwandelt, und der englische Capitain *Ross* bauete für seinen Winteraufenthalt an der nördlichsten Küste America's, wo das Quecksilber Mo-

nate lang gefroren blieb, ein Haus aus Quadern von erhärtetem Schnee, die durch Begiessen mit Wasser zu einer festen Eismasse zusammenfroren. Bestehen die Decken und Wände der Zimmer aus Balken mit dazwischen befindlichem Lehm oder gebrannten Steinen, so bleiben die ersteren weiss, die letzteren aber zeigen sich schwarz, weil der im Winter aufsteigende Rauch und Lampenschwalch diesen, als den besser leitenden, Körpern die Wärme abgiebt und sich auf der Oberfläche ablagert. Hölzerne Handhaben und Knöpfe sichern die Hände gegen das Verbrennen beim Anfassen der Metalle, z. B. der Löthkolben, der Klappen an Ofenthüren u. s. w., und die Handhaben metallener Kessel, Töpfe, Bügeleisen u. s. w. werden mit Holz oder mit Zeug umgeben. Auf gleiche Weise sichert man die kleinen Schmelzöfen gegen das Verbrennen durch eine Bekleidung aus Lehm und Kohlenstaub, und um wichtige Papiere gegen Feuersgefahr zu schützen, müsste man sie in eisernen Kisten mit doppelten Wandungen aufbewahren, deren 2 bis 5 Zoll weite Zwischenräume mit Asche und Kohlenpulver auszufüllen wären.

116) Von geringer praktischer Wichtigkeit, aber desto höherem wissenschaftlichen Interesse ist das Verhalten der Wärme bei ihrem strahlenden Durchgange durch durchscheinende und durchsichtige Körper, wenn auch nur deswegen, weil hierauf die (§. 34) ausgesprochene Behauptung beruhet, die Wärmestrahlen seyen von Lichtstrahlen wesentlich verschieden. Zwar kannte man schon früher verschiedene hierher gehörige Erscheinungen, im grössten Umfange ist aber die Aufgabe neuerdings durch *Melloni* und *Forbes* behandelt. Beschränken wir uns auf die wesentlichsten gewonnenen Resultate, so lassen sich diese in folgenden Hauptsätzen zusammenfassen. Es giebt sowohl Wärmestrahlen, die von zugleich leuchtenden Körpern ausgehen, als auch solche, die durch dunkle Körper erzeugt werden, z. B. von heissen, aber nicht glühenden Metallen, von Gefässen, die mit heissen Flüssigkeiten gefüllt sind u. s. w. Beide Arten von Strahlen zeigen keine Verschiedenheit hinsichtlich der Geschwindigkeit ihrer Bewegung oder ihrer sonstigen Wirkungsweise, wohl aber hinsichtlich ihres Durchganges

durch die Körper, und man bezeichnet daher die Fähigkeit der letzteren, die Wärmestrahlen durchzulassen, mit dem Ausdrucke Diathermanie, die Eigenthümlichkeit aber, der einen oder der anderen der beiden verschiedenen Strahlenarten den Durchgang zu gestatten, mit dem Ausdrucke Diathermansie. Nennen wir diejenigen Körper, welche die das helle Licht begleitenden Wärmestrahlen durchlassen, diatherman, so unterscheiden sie sich sehr hinsichtlich dieser Eigenschaft, denn um nur einige zu nennen, lässt klares krystallisirtes Steinsalz von 100 Wärmestrahlen 92, klares Flintglas nur 67, Kronglas 49, klarer Gyps 20, und Wasser nur 11 Strahlen durchfallen; überhaupt ist das Steinsalz derjenige Körper, welcher unter allen die meiste Wärme, sey sie hell oder dunkel, durchlässt, Glas dagegen lässt nicht einmal die Hälfte der auffallenden Wärmestrahlen zur Folie gelangen, und foliirte Glasspiegel sind daher zum Brennen nicht geeignet (§. 88). Diathermane Körper lassen auf gleiche Weise, als beim Lichte, mehr Wärmestrahlen durch, wenn sie eine glatte Oberfläche haben; auch geht im Innern derselben Wärme verloren, und letztere dringt weniger durch dicke als durch dünne Körper, ohne dass sich jedoch hierüber ein bestimmtes Gesetz aufstellen lässt. Die Farbe ist beim Glase von grossem Einfluss, indem durch violett- und gelblich-rothes Glas fast dreimal so viel Wärmestrahlen dringen, als durch dunkelblaues. Die das helle Tageslicht begleitenden Strahlen dringen leicht durch klares Glas, die einer Kerzenflamme schon weniger, noch weniger aber dringt die der letzteren durch Alaun, denn eine sehr dünne und klare Platte dieses Salzes liess fast nur ein Drittel so viel Wärme durch, als eine 75 mal so dicke Platte Rauchtopas, die so dunkel war, dass man grosse Druckbuchstaben am hellen Tage nicht dadurch lesen konnte. Nach einem älteren, wenig beachteten, Versuche lässt helles Glas die Wärmestrahlen eines Küchenfeuers weit weniger durch, als eine gewisse Sorte schwärzlichen, dem Rauchtopas ähnlichen, Glases, und die neuesten Messungen *Melloni's* bestätigen dieses vollkommen. Unter 40 von ihm geprüften Körpern lässt bloss das Steinsalz und der Flussspath die aus einem Metallgefässe strömen-

den Wärmestrahlen, wenn dessen Oberfläche mit Kienruss geschwärzt und es mit siedendem Wasser gefüllt ist, durch sich hindurch dringen, alle übrigen gar nicht. Von 100 durch die Luft dringenden Strahlen der Flamme eines Lampenlichtes dringen 92 durch helles Steinsalz, aber nur 6 durch klares Eis, welches zugleich alle Strahlen eines glühenden Platindrahtes und eines über 300^0 heissen Kupferbleches völlig zurückhält. Es könnte hiernach scheinen, als ob das Eis alle Wärmestrahlen in sich aufnähme, um dadurch zu schmelzen, allein dieses ist nicht der Fall, denn man kann in nicht bedeutender, nur etwa 5^0 betragender, Kälte aus klarem Eise eine Brennlinse verfertigen, ja sogar eine dünne Scheibe Eis etwa 1 Zoll vor den Brennpunct einer grossen Brennlinse halten, und in den durchgedrungenen hellen Sonnenstrahlen Schwamm entzünden, ohne dass das Eis schmilzt oder ehe dieses erfolgt, weil von den helleren Strahlen der Sonne weit mehr, als von den dunkleren der Kerze durch das Eis dringen. Nimmt man hinzu, dass die Wärmestrahlen sich vorzugsweise neben den rothen Strahlen des durch ein Prisma zerlegten Lichtes finden, ja selbst bei einigen Prismen ausserhalb der rothen Strahlen, dass sie dagegen in den blauen und violetten ganz oder fast ganz fehlen, mithin weniger gebrochen werden, so folgt aus allem diesem zuerst, dass die Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen verschieden sind, und zweitens, dass sie zugleich zwei in ihrem Verhalten ungleiche Arten bilden, nämlich helle und dunkle, oder mit Lichtstrahlen verbundene und von diesen getrennte. Unter allen Körpern ist dann das Steinsalz der einzige, welcher beide letzte Arten gleich stark durchlässt, alle andern thun dieses im Allgemeinen weniger, und verhalten sich ausserdem ungleich gegen die beiden Arten, indem einige die hellen, andere die dunkeln leichter durchlassen, oder die letzteren gänzlich zurückhalten. Diese ihre Eigenschaft ist es dann, die man durch Diathermansie bezeichnet, und die sich von der Diathermanie, oder dem Vermögen, die Wärmestrahlen überhaupt durchzulassen, unterscheidet. Einige Aehnlichkeit zwischen diesem Verhalten und dem des Lichtes, sofern einige Körper, z. B. klares Glas,

alle Lichtstrahlen durchlassen, andere, z. B. blaues Glas, nur die blauen u. s. w., ist hierbei unverkennbar, was *Melloni* durch den Ausdruck farbige Wärmestrahlen bezeichnet. Will man daher Wärmestrahlen in einen Brennpunct vereinigen, so geschieht dieses am besten durch eine Linse aus Steinsalz, und besser als durch einen metallenen Hohlspiegel. Ganz dunkle Körper, namentlich Metalle, lassen die Wärmestrahlen, eben wie die Lichtstrahlen, nicht direct durch sich dringen, die Lichtstrahlen sind dann gänzlich vertilgt, die Wärmestrahlen aber verdichten sich in diesen Körpern, erhitzen sie, und es findet dann an ihrer entgegengesetzten Seite eine durch die Beschaffenheit der Oberfläche bedingte Strahlung (§. 91) statt.

117) Ungeachtet des hier erläuterten Unterschiedes zwischen den Lichtstrahlen und Wärmestrahlen findet dennoch zwischen beiden eine unverkennbare Aehnlichkeit statt, die vorzugsweise auf eine wellenartige Bewegung schliessen lässt, wie wir eine solche bei den Schallwellen deutlich nachzuweisen vermögen. Dahin ist zu rechnen die beiden Arten von Strahlen zugehörige zusnehmende Geschwindigkeit der Bewegung, sowie auch dass beide im Prisma, wenn auch ungleich, doch überhaupt gebrochen werden, und endlich die beiden gleichmässig zukommende Eigenschaft des Zurückfallens von polirten Flächen und der Vereinigung in einen gemeinschaftlichen Brennpunct durch metallene Hohlspiegel und durch gläserne oder sonstige Linsen. Selbst auch die dem Lichte eigenthümliche Polarisation, oder die Eigenschaft nach der Richtung zweier Ebenen gegen einander von diesen ungleich zurückgeworfen, oder beim Durchgange durch krystallisirte Körper, namentlich durch Glimmer oder Turmalin, je nach der Lage der Krystallisationsaxen dieser Substanzen, verschieden durchgelassen zu werden, findet sich in einigem, wenn gleich geringem, Grade gleichfalls bei den Wärmestrahlen. Wir verlassen indess diese, nur durch sehr feine Versuche aufgefundenen, Erscheinungen, und begnügen uns mit dem gewonnenen wichtigen Resultate, dass wir nach allen diesen Thatsachen einen eigenen, dem Lichtäther ähnlichen, aber dennoch von ihm ver-

schiedenen, Wärmeäther als Ursache der gesammten wohlbekannten Wirkungen anzunehmen haben.

B. Specifische Wärme; Wärmecapacität.

118) Die so eben aufgestellte Folgerung, dass die Wärmeerscheinungen am besten aus der Hypothese eines vorhandenen materiellen, wenn gleich sehr feinen, ätherischen Wärmestoffs erklärbar seyen, findet eine kaum wankend zu machende Bestätigung durch die Betrachtung des specifischen Wärmevermögens oder der specifischen Wärmecapacität der Körper. Die Sache selbst ist sehr einfach und ungleich leichter verständlich, als alle bisher erörterte Probleme. Alle Körper, seyen sie warm oder kalt, haben eine gewisse, ihre Temperatur gebende, Quantität Wärme, von welcher sie einen Theil abgeben müssen, um kälter zu werden, und auf gleiche Weise muss ihnen von aussen ein Theil zuströmen, oder aus ihrem Innern sich entwickeln, wenn ihre Temperatur steigen soll. Ist uns also irgend ein Körper von einer gewissen Temperatur gegeben, z. B. Eis von 0^0, so wissen wir zwar, dass in demselben mehr Wärme enthalten ist, als wenn es bis 10^0 unter 0 erkaltet wäre, und dass im Wasser von 0^0 sich weniger Wärme befindet, als in dem unserer Brunnen im Sommer; allein zugleich liegt die Frage sehr nahe, wie gross die Menge der in den genannten Körpern, so wie überhaupt in jedem gegebenen Körper von irgend einer höheren oder niedrigeren Temperatur enthaltenen Wärme seyn möge, durch deren Wegnahme dieselben nicht etwa nur auf einen tieferen Grad der Temperatur, sondern bis zur Abwesenheit aller Wärme herabgebracht werden könnten. Wir haben diese Frage bei den hier vorausgehenden Betrachtungen noch gar nicht erörtert, obgleich ohne Zweifel viele derselben deutlicher und bestimmter dadurch geworden wären. Allein es ist den bisherigen Bemühungen der Physiker noch nicht gelungen, die in den Körpern vorhandenen absoluten Wärmemengen zu messen. Hieraus folgt dann zugleich, dass alle unsere Thermometer nur das Verhältniss des Mehr oder Weniger der vorhandenen Wärme angeben, und dass ihre festen

Puncte nur deswegen gewählt sind, weil sie sich überall einander genau gleich darstellen lassen, um auf diese Weise übereinstimmende Messungen zu gestatten. Namentlich kann der Nullpunct derselben nicht eine solche Grenze bezeichnen, wo alle Wärme fehlt, oder er kann kein absoluter, kein die Abwesenheit aller Wärme zeigender seyn. Allerdings haben sich die Physiker bestrebt, die absolute Menge der in einem Körper von gegebener Temperatur enthaltenen Wärme aufzufinden, allein die nach verschiedenen Voraussetzungen erhaltenen Resultate weichen so sehr von einander ab, dass sie ihre Glaubwürdigkeit gegenseitig zerstören, um so mehr, da keine der gefundenen Bestimmungen durch anderweits entnommene Gründe unterstützt wird. Am gangbarsten ist die Meinung, der absolute Nullpunct oder der Punct, wo alle Wärme entwichen seyn würde, liege bei 219^0, oder in runder Zahl bei 220^0 Kälte, denn 1^0 Wärme vermehrt die Ausdehnung der Luft um den 220. Theil, und daher glaubte *Laplace* folgern zu dürfen, die Summe der bei 0^0 noch vorhandenen Wärme betrage so viele Grade, als Theile des Luftvolumens erfordert werden, um die Einheit desselben bei 0^0 zu geben. Inzwischen wollen wir auf eine nähere Prüfung dieser Hypothese nicht eingehen, vielmehr möge diese Bestimmung nur deswegen hier erwähnt seyn, weil dieselbe zuweilen angewandt wird.

119) Haben wir zwei Körper, z. B. 1 Pfund Quecksilber und 1 Pfund Wasser, von gleicher Temperatur, wir wollen annehmen 0^0, so könnte man schliessen, und wirklich geschah dieses auch so lange, bis die Sache genauer bekannt war, es sey in beiden eine gleiche absolute Menge Wärme enthalten; allein es unterliegt keinem Zweifel, dass dieses nicht der Fall seyn kann. Sollen nämlich beide Körper eine gleiche höhere Temperatur, wir wollen annehmen 10^0, erhalten, so muss dem Wasser über 30 mal mehr Wärme zugeführt werden, als dem Quecksilber. Folgendes möge die Sache deutlich machen. Gesetzt es befänden sich in zwei Gläsern gleiche Gewichte, in dem einen Wasser, in dem andern Quecksilber, beide von gleicher Temperatur, und beide sollten in

gleicher Zeit bis zu einer gleichen höheren Temperatur durch kleine, gleiche Wärme erzeugende, Lämpchen erhitzt werden, so müsste man unter das Wassergefäss 31 dieser Lämpchen, unter das Quecksilbergefäss aber nur 1 derselben stellen. Sollte die Erwärmung durch verbrennende Kohlen geschehen, so würde unter dem Wasser eine mehr als dreissigfache Menge derselben verbrennen müssen. Es folgt hieraus wohl augenfällig, dass die absolute Menge der im Quecksilber enthaltenen Wärme, wenn sie mit der im Wasser enthaltenen verglichen wird, beide gleich warm angenommen, ungleich geringer, und zwar 31 mal geringer ist, wenn wir die gegebene Bestimmung als genau gelten lassen. Hiermit ist denn zugleich auch klar, was unter specifischer Wärme oder specifischer Wärmecapacität der Körper zu verstehen sey, nämlich die Eigenthümlichkeit derselben, einer grösseren oder geringeren Wärmemenge zu bedürfen, um bis zu gleichen Temperaturen erwärmt zu werden; als Beispiel ist aber das Wasser und das Quecksilber gewählt, weil unter den flüssigen Körpern jenes die grösste, dieses die geringste Wärmecapacität hat. Denken wir uns unter der Wärme ein gewisses materielles Wesen, auf welches also die Bestimmung der Menge, der Quantität, Anwendung leidet, so muss von den Körpern auch eine ihrer Capacität proportionale Menge Wärme wieder abgegeben werden, wenn sie bis zu einer gewissen Temperatur erkalten sollen, als sie aufnehmen müssen, um zu einer gleichen Erhöhung ihrer Temperatur zu gelangen, und die Erfahrung bestätigt dieses vollkommen. Als ein geeignetes Maas der Vergleichung hat man das Gewicht der Körper gewählt, weil dieses zugleich die Menge der vorhandenen Elemente oder kleinsten Theilchen bezeichnet, woraus der Körper besteht, und an welche die Wärme gebunden ist. Wollte man statt der Gewichte die Volumina wählen, so würden die Resultate ganz anders seyn; denn da das Quecksilber fast 14 mal schwerer ist, als das Wasser, so würde bei gleichem Volumen seine specifische Wärme nur etwas weniger als die Hälfte der des Wassers betragen.

120) Die verschiedenen Methoden, mittelst deren man die

specifischen Wärmecapacitäten einer grossen Menge von Körpern aufgefunden hat, könnten zwar übergangen werden, da aber die ganze Sache durch sie deutlicher wird, so wollen wir sie kurz berühren. Anfangs bediente man sich der leichtesten, und noch immer wohl vorzüglichsten, Methode der Mischungen. Vereinigt man gleiche Körper, z. B. Wasser mit Wasser, Blei mit Blei u. s. w., so erhält die Mischung nach dem bereits (§. 43) erwähnten Richmann'schen Gesetze die im Voraus bestimmbare mittlere Temperatur, indem beide Massen die in ihnen vorhandene Wärme gleichmässig unter sich vertheilen. Giesst man also 1 Pfd. Wasser von 10^0 und 1 Pfd. Wasser von 20^0 zusammen, so giebt 1×10 und 1×20 durch 2 getheilt 15 als mittlere Temperatur der Mischung, oder giesst man 4 Pfd. Wasser von 10^0 und 12 Pfd. von 30^0 zusammen, so giebt $4 \times 10 + 12 \times 30$ getheilt durch $4 + 12$ die mittlere Temperatur von 25^0. Ganz anders aber ist der Erfolg, wenn ungleiche Körper vereinigt werden, indem man entweder verschiedene Flüssigkeiten zusammengiesst, oder feste Körper in's Wasser eintaucht. Hierbei müssen indess zuvor alle diejenigen Fälle ausgeschlossen werden, worin die Körper chemisch auf einander einwirken, sich verdicken oder auflösen, denn im ersten Falle wird Wärme entbunden, wie oben (Abs. II. C. §. 43 ff.) ausführlich gezeigt worden ist; im zweiten wird sehr häufig Wärme gebunden (§. 128). Zur Bestimmung der specifischen Wärme nimmt man die des Wassers als Einheit an, und bedient sich daher dieser Flüssigkeit vorzugsweise bei der Methode der Mischungen, deren Anwendung aus folgenden Beispielen anschaulich wird. Am einfachsten nimmt man gleiche Massen beider Körper, und das Wasser bei 0^0 Temperatur, um leicht zu berechnen, wie viel Wärme ihm von dem untersuchten Körper mitgetheilt ist. Schüttet man also 1 Pfd. Quecksilber von 64^0 zu 1 Pfd. Wasser von 0^0, so ist die Temperatur der Mischung 2^0, und die specifische Wärme des Quecksilbers $= 2$ getheilt durch $64-2$, also $^1/_{31}$ der des Wassers, oder letzteres hat 31 mal mehr Wärme.

Es ist indess nicht nothwendig, dass die Temperatur des Was-

sers gerade 0^0 sey, was ohnehin schwer zu erreichen steht; können die Massen ungleich seyn, und dennoch lässt sich specifische Wärme genau finden. Hätte man z. B. 2 Pfd. Wa von 8^0 Temperatur, würfe dahinein ein Stück Eisen von 4 und 72^0 Wärme, und fände dann die gemeinschaftliche Temp tur $= 24^0$, so erhielte man $2 \times (24-8)$ getheilt durch $(72-24) = 1/6$, also die specifische Wärme des Wassers 6 m gross, als die des Eisens. Soll die specifische Wärme solcher f Körper bestimmt werden, die sich im Wasser auflösen, so s man sie in irgend eine andere, sie nicht auflösende, Flüssig deren specifische Wärme bekannt ist, bestimmt ihre specifi Wärme gegen diese, und ermittelt auf solche Weise indirect gegen das Wasser. Wäre z. B. die specifische Wärme des nen Alkohols nur $2/3$ der des Wassers, die der Pottasche g Alkohol aber $9/10$, so müsste diese Grösse mit $2/3$ multipl werden, um die specifische Wärme der Pottasche $= \frac{18}{30} =$ gegen die des Wassers zu erhalten.

121) Die zweite Methode der Messung besteht darin, man die zu untersuchenden Körper auf geeignete Weise mit von 0^0 Temperatur in Verbindung bringt, und die Menge des ses misst, welche durch sie geschmolzen wird. Wir werden sehen, dass das Eis, bloss um flüssig und in Wasser von 0^0 wandelt zu werden, also ohne Erhöhung seiner Temperatur, nahe 63^0 Wärme bedarf. Diesemnach wird 1 Pfd. Wasser von Temperatur 1 Pfd. Eis schmelzen, und die Temperatur des haltenen Wassers 0^0 seyn. Betrachten wir dann die specifi Wärme des Wassers als Einheit, und findet es sich, dass z 1 Pfd. Messing von 63^0 Temperatur nur $\frac{1}{10}$ Pfd. Eis in Wa von 0^0 Temperatur verwandelt, und dabei selbst auf 0^0 he geht, so folgt hieraus, dass im Messing nur der zehnte T Wärme, als im Wasser enthalten ist, oder seine specifische Wä nur $\frac{1}{10}$ der des Wassers beträgt. Es ist unnöthig, diese Aufg weiter zu verfolgen, jedoch möge bemerkt werden, dass man Apparate, mittelst deren man die in den Körpern enthaltene, durch sie erzeugte, Wärme misst, Calorimeter, und z

Wasser- oder Eis-Calorimeter nennt, und sich ihrer auch bedient, um die durch Verbrennung der Brennstoffe oder sonst erzeugte Wärme zu messen (§. 73), in welchem Falle sie auch Brennkraftmesser genannt werden.

122) Die dritte Methode ist die der Abkühlung, indem man die Zeit misst, während welcher Körper von gleicher Masse und unter sonst gleichen Bedingungen von einer höheren Temperatur auf eine niedrigere herabgehen. Wir haben oben (§. 105) gesehen, dass ein Körper eine desto längere Zeit bedarf, um seine Wärme durch Ausstrahlung zu verlieren, je grösser die Menge ist, welche er in Vergleichung mit anderen von gleicher Temperatur besitzt, was eben seine specifische Wärme genannt wird, und es liegt daher sehr nahe, dass man diese durch das Verhältniss der Zeiten des Erkaltens messen könne. Das geeignete Verfahren einer genauen Messung ist sehr zusammengesetzt, gehört in das Gebiet streng wissenschaftlicher Forschungen, und kann daher hier füglich übergangen werden.

123) Aus dem Unterschiede der verschiedenen specifischen Wärme lassen sich eine Menge sehr gewöhnlicher Erscheinungen erklären, zu deren genauerer Einsicht man durch den Anblick der Grössenbestimmungen gelangt, die in der nachfolgenden Tabelle enthalten sind. Giesst man kalte Medicin in einen erwärmten silbernen Löffel, so wird die gemeinschaftliche Wärme beider weit unter der Erwartung zurückbleiben, diese dagegen übertreffen, wenn man heisses Wasser in den kalten Löffel giesst. Beträgt nämlich das Wasser oder die Medicin dem Gewichte nach nur den zehnten Theil des Löffels, so ist dagegen seine specifische Wärme zehnmal grösser. Ein Gefäss mit heissem Wasser erkaltet ausnehmend langsam, und es dauert gleichfalls sehr lange, bis es selbst auf dem Feuer einer Schmiedeesse zum Sieden kommt. Hierauf beruhet dann auch seine Kraft der Feuerlöschung (§. 59), wenigstens zum Theil, bei weitem am meisten aber auf der grossen zur Bildung des Dampfes erforderlichen Wärme (§. 126). Wird siedendes Wasser auf die Haut des menschlichen Körpers gegossen, so ist die Brandbeschädigung weit stärker, als

die durch Berührung mit gleich heissem Metalle erzeugte, und die (§. 107) erwähnten Erscheinungen mögen zum Theil aus der ungleichen specifischen Wärme der Körper erklärbar seyn; denn das Berühren des glühenden Eisens, das Eintauchen eines Fingers in Oel, worin ein gewöhnlicher Löffel aus Zinnblei schmolz, ist beobachtet, dagegen wird nirgends erwähnt, dass jemand seine Hand in siedendes Wasser zu tauchen gewagt habe. Die Beantwortung der Frage, die wohl zum Spass aufgegeben zu werden pflegt, ob ein Pfd. Butter oder ein Pfd. Blei leichter schmelze, erfordert genauere Kenntniss der physikalischen Gesetze, als es auf den ersten Blick den Schein hat. Ist die angewandte Hitze nicht so stark, dass sie den Schmelzpunct des Bleies erreicht, so wird das Metall gar nicht schmelzen; ist aber die Hitze sehr gross, z. B. wenn man beide genannte Substanzen in einem metallenen Gefässe liegend einem starken Essenfeuer aussetzt, so wird das Blei ungleich schneller flüssig seyn, als die Butter, weil das Blei die Wärme besser leitet, also schneller in sein Inneres dringen lässt, als die Butter, und ausserdem vielleicht eine zehnmal geringere Wärmecapacität hat. Aus diesem Grunde sind denn auch Quecksilberthermometer ungleich empfindlicher, als Weingeistthermometer, weil die in jenen enthaltene Flüssigkeit weit weniger Wärme zur Erhöhung der Temperatur bedarf, als die in diesen. Die folgende Tabelle enthält einige mittlere Bestimmungen der specifischen Wärmecapacitäten gleicher Gewichte verschiedener Körper, die des Wassers = 1000 angenommen.

Luft	280	Schwefeläther	550
Kohlensäure	210	Gold	32
Sauerstoffgas	260	Kupfer	100
Stickgas	280	Messing	90
Wasserstoffgas	3880	Platin	32
Wasserdampf	847	Silber	60
Alkohol	630	Stahl	115
Salzwasser	840	Wismuth	30
Olivenöl	500	Zink	93
Quecksilber	33	Zinn	55

Holz	600	Eisen	113
Glas	180	Kalk	250
Schwefelsäure	350	Sand	190
Terpenthinöl	490	Kohle	200
Antimon	50	Schwefel	200
Blei	31	Schwerspath	106

124) Nach den Gesetzen der specifischen Wärmecapacität der Körper wird also durch Zuführung von Wärme aus irgend einer Quelle die Temperatur zwar ungleich, aber allezeit etwas, wenn auch nur unmerklich, zunehmen. Würde z. B. einem gleichen Gewichte Wasser und Kupfer durch irgend ein Mittel etwas Wärme zugeführt, wodurch die Temperatur des Kupfers um 1^0 stiege, so würde die des Wassers nur um $\frac{1}{10}$ Grad zunehmen, also nur durch sehr feine Thermometer wahrnehmbar seyn; dennoch aber müssten fortgesetzte Versuche zeigen, dass die Wärme hierbei nie gänzlich verschwindet. Es giebt indess eine Menge Erscheinungen, wobei Letzteres wirklich der Fall ist, die Wärme gänzlich verschwindet, und ihre Anwesenheit durch keine, selbst nicht durch die feinsten, Thermometer zeigt. Dabei ist sie indess keineswegs, wie das Licht bei undurchsichtigen Körpern, gänzlich vernichtet, vielmehr kommt sie unter gehörigen Bedingungen, wenn auch erst nach willkührlich langer Zeit, wieder zum Vorschein, und zwar genau die nämliche Menge, die früher verschwunden war, weswegen man sie auch nur verborgene (latente) oder gebundene nennt. Das leichteste und zugleich die auffallendsten Resultate gebende Verfahren, dieses Verschwinden der Wärme wahrzunehmen, ist folgendes. Man nehme bei strenger Kälte einen Topf, fülle ihn mit Schnee, senke ein Thermometer hinein, und lese die Grade ab, die es zeigt; wir nehmen an 10^0 unter 0^0. Bringt man den Topf in ein warmes Zimmer, so dringt sofort Wärme von aussen ein, und zeigt sich dadurch wirksam, dass sie das Thermometer bis 0^0 steigen macht Von jetzt an bleibt aber das Thermometer unverändert, wie viel Wärme auch von aussen eindringen mag, selbst wenn der Topf auf einem Kohlenfeuer steht, so lange noch ungeschmolzener

Schnee darin vorhanden ist; im Augenblicke aber, wenn die letzten Antheile desselben in Wasser verwandelt sind, fängt das Thermometer wieder an zu steigen, und zwar bei vieler zugeführter Wärme (wir nehmen an, dass der Topf auf glühenden Kohlen steht), schnell und anhaltend ziemlich gleichmässig, bis das Wasser anfängt zu sieden. Das Thermometer zeigt dann 80^0, und bleibt unverändert, so lange noch Wasser vorhanden ist, welches fortfährt zu sieden und sich in Wasserdampf verwandelt. Die beiden Puncte des Stillstandes bei 0^0 und bei 80^0 sind ihrer Unveränderlichkeit wegen diejenigen, welche man als Hauptpuncte der Thermometer gewählt, und durch die Namen: Gefrierpunct und Siedepunct (§. 5) bezeichnet hat.

Betrachten wir diese einfache, aber höchst wichtige Erscheinung genauer, so beruhet ihre Wesenheit auf Folgendem. Der bis 10^0 unter 0 kalte Schnee nimmt die von aussen einströmende Wärme in einer seiner specifischen Wärmecapacität proportionalen Menge auf, und wird dadurch wärmer, bleibt aber dabei stets krystallisirtes Wasser in festem Zustande, bis er anfängt in den flüssigen Zustand überzugehen. Für diesen Uebergang, damit das starre Eis in flüssiges Wasser verwandelt werde, ist eine grosse Menge Wärme erforderlich, die latent oder gebunden werden muss, also keine sonstige Wirkung, namentlich nicht auf das Thermometer äussern kann, weil alle ihre Wirksamkeit zur Erzeugung des tropfbar flüssigen Zustandes verwandt wird. Ist dann dieser Zustand hergestellt, befindet sich im Topfe nichts anderes als Wasser, so nimmt dieses die Wärme auf, und seine Temperatur wird nach dem Verhältniss seiner specifischen Capacität erhöhet, bis es anfängt zu sieden, und das Thermometer 80^0 zeigt. Schon früher steigt zwar von der Oberfläche Wasserdampf auf, auch bilden sich auf dem Boden des Gefässes kleine Dampfblasen, allein diese steigen im Wasser auf und geben ihre Wärme daselbst ab, bis ihre Elasticität so stark wird, als die der Luft, welche auf der Oberfläche des Wassers ruhet. Die an der Oberfläche des Wassers angekommenen Dampfbläschen steigen daher frei auf, ihnen folgen andere nach, und die am Boden durch

stets neu zugeführte Wärme gebildeten dringen durch das Wasser empor, bewirken das Aufwallen der Flüssigkeit, und es tritt das ein, was wir Sieden nennen (§. 158). Alle von da an zuströmende Wärme wird zur Bildung neuen Dampfes verwandt, kann also die Temperatur des Wassers nicht erhöhen, das Thermometer bleibt fortwährend auf seinem Stande von 80°, den man daher den Siedepunct nennt. Aus dieser Ursache können gelöthete und aus Zinnblei verfertigte Gefässe selbst über dem stärksten Feuer nicht schmelzen, so lange noch Wasser in ihnen befindlich ist. Fängt man den erzeugten Wasserdampf in einem metallenen Rohre auf, welches durch eine Masse kalten Wassers geleitet ist, so dringt die Wärme des Dampfes durch dieses Rohr in das Wasser; dieses wird dadurch erwärmt, der Dampf dagegen abgekühlt, und wieder in tropfbares Wasser verwandelt, ein Process, den wir täglich bei der Destillation des Branntweins beobachten können, mit der geringen Modification, dass der aus der Maische aufsteigende Dampf nicht aus reinem Wasser, sondern zum Theil aus Alkohol oder Spiritus besteht. So wie aber der Dampf die zu seiner Erzeugung erforderliche Menge Wärme wieder abgeben muss, um in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurückzukehren, findet dieses gleichfalls statt, wenn das Wasser in den Zustand des festen Eises übergehen soll; dieses Abgeben der Wärme erfolgt nur allmälig, und daher wird nur langsam nach und nach derjenige Theil des Wassers in Eis verwandelt, welcher die gehörige Menge Wärme abgegeben hat. Wir können also sagen: das Eis verschluckt Wärme, bindet sie, macht sie latent, wenn es in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit übergeht, bei'm Wasser findet dieses statt, wenn es sich in Dampf verwandelt, umgekehrt aber wird die gebundene Wärme frei, wenn der Dampf wieder tropfbar flüssig, das Wasser wieder fest wird. Dass die Menge der bei jedem der beiden Processe gebundenen, und umgekehrt der wieder frei werdenden Wärme genau dieselbe sey, folgt wohl schon aus der Natur der Sache selbst, sobald wir einen materiellen Wärmestoff annehmen, ist aber ausserdem durch die genauesten Versuche ausser allen Zweifel gesetzt.

125) Die zunächst vorliegende Frage ist, ob das Latent- und Freiwerden der Wärme, welches sich bei'm Wasser in seinem dreifachen Zustande so auffallend zeigt, auch bei andern Körpern wahrgenommen wird. Bleiben wir zuerst bei dem Uebergange aus dem festen Zustande in den flüssigen stehen, so unterliegt es keinem Zweifel, dass die meisten Körper, vorzugsweise die krystallisirten, hierbei Wärme binden, und bei einigen ist dieses bestimmt nachgewiesen, ja bei wenigen Metallen, als: dem Zinn, Zink und Wismuth, soll die Menge der gebundenen Wärme noch grösser seyn, als beim Eise. Wir würden hierüber genauer unterrichtet seyn, wenn sich die Messungen so leicht, als beim Eise anstellen liessen; inzwischen geht das Vorhandenseyn dieser Eigenschaft schon daraus hervor, dass die schmelzbaren Körper nicht sofort in ihrer Gesammtmasse flüssig werden, wie geschehen müsste, wenn dieser Zustand bei einer gewissen Temperatur ohne Bindung der einströmenden Wärme herbeigeführt würde. Dagegen sehen wir, dass die letzten Theile schmelzenden Wachses, Blei's, Zinn's u. s. w. in der bereits flüssigen Masse unter stetem Zufluss von Wärme eine geraume Zeit erfordern, bis auch sie flüssig werden. Wenn geschmolzene Metalle erkalten, so erfolgt zwar die gänzliche Erstarrung schnell und nicht so langsam, als das Gefrieren des Wassers, allein hiervon liegt die Ursache in der hohen Temperatur, wobei sie fest werden, da die grössere Wärme schneller entweicht.

Namentlich weiss man bis jetzt bestimmt, dass ausser dem Wasser auch Wallrath, Wachs, Zinn, Wismuth, Blei, Zink, Schwefel und Quecksilber bei'm Gestehen Wärme entbinden und bei'm Schmelzen latent machen, vorzugsweise aber wird bei der Bildung der Krystalle Wärme frei und bei der Auflösung derselben gebunden. Bei der Bildung des Dampfes aus tropfbaren Flüssigkeiten wird allezeit Wärme latent, alle zeigen in dieser Beziehung ein gleiches Verhalten, als das Wasser.

126) Wenn es gleich bei den übrigen Körpern minder wichtig, wo nicht gar gleichgültig seyn mag, wie viele Wärme bei'm Schmelzen und bei der Dampfbildung gebunden wird, so findet

dieses doch keineswegs in Beziehung auf das Wasser statt, wie schon daraus folgt, dass hierauf der Gebrauch des Eiscalorimeters (§. 121) beruhet, und man hat daher viele und genaue Versuche angestellt, um diese Grössen scharf zu bestimmen. Die sogenannte Flüssigkeitswärme des Wassers oder diejenige Wärme, welche bei der Auflösung des Eises erfordert wird, lässt sich leicht durch die Methode der Mischungen (§. 120) auffinden; indem man eine gewogene Menge Eis in eine gleichfalls gewogene Menge Wassers von gegebener Temperatur wirft, und die Temperatur misst, bis auf welche die gesammte Masse herabgegangen ist. *Black*, welcher die ersten Versuche hierüber anstellte, fand für diese Grösse 64°; man nahm aber später ganz allgemein die durch *Lavoisier* und *Laplace* gefundene Bestimmung von 60° als völlig genau allgemein an; die neuesten Versuche haben aber gezeigt, dass etwas mehr als 63° die richtige Grösse sey, weswegen wir in runder Zahl 63° beibehalten wollen. Giesst man daher 1 Pfd. Wasser von 63° Wärme auf 1 Pfd. Eis, so wird letzteres schmelzen, das sämmtliche Wasser aber wird 0° zeigen, und wenn von 64 Pfd. Wasser 1 Pfd. in Eis verwandelt wird, so giebt dieses so viel Wärme her, um die Temperatur der übrigen 63 Pfd. um 1° zu erhöhen. Weit schwieriger ist die Auffindung der zur Dampfbildung erforderlichen Wärmemenge, denn der Dampf ist bald wärmer, bald kälter, hat bei der Siedehitze sehr nahe die Temperatur der Flüssigkeit, aus welcher er aufsteigt, breitet sich dann aus, und seine Temperatur geht herab, nimmt aber eine stets höhere Wärme an, wenn er sich, in feste Grenzen eingeschlossen, nicht ausbreiten kann. Man füllte daher, um das Verhalten der Dämpfe zu erforschen, eine starke kupferne Kugel, woran sich eine durch einen Hahn verschliessbare Röhre befand, mit Wasser, erhitzte dieses bis zur Siedehitze und weit hierüber hinaus, liess dann eine durch Gewicht bestimmbare Menge Dampf aus derselben in eine gegebene Quantität Wasser strömen, und mass die dadurch erzeugte Erhöhung der Temperatur. Dieses Verfahren ist nichts anderes, als die Methode der Mischungen, die gesammte zugeführte Wärme musste

in der gegebenen Quantität des wieder in Wasser verwandelten Dampfes enthalten gewesen seyn, und liess sich demnach berechnen. Hierbei zeigte sich dann das auffallende Resultat, dass gleiche Gewichte Dampf, wie ungleich auch ihre Temperaturen seyn mochten, stets gleiche Mengen Wärme abgeben, und da in ihnen beim Uebergange ins Wasser nicht bloss die latente, durch das Thermometer daher nicht wahrnehmbare, sondern auch die dadurch messbare Wärme vorhanden war, so folgt nothwendig, dass die Summe beider beim Dampfe allezeit gleich ist. Nennt man nun die mittelst des Thermometers messbare Wärme des Dampfes, wenn er 80^0 oder 90^0 oder 100^0 u. s. w. warm ist, die sensibele, die übrige aber, welche nicht auf das Thermometer wirkt, wohl aber in dem zum Messen dienenden Wasser nach seiner Verwandlung in tropfbare Flüssigkeit zum Vorschein kommt, die latente, so besagt das aufgefundene Gesetz: die Summe der latenten und sensibelen Wärme des Dampfes sey stets gleich. Im Mittel aus einer grossen Zahl von Versuchen beträgt die latente Wärme des Wasserdampfes beim Siedepuncte, also wenn seine sensibele $= 80^0$ ist, 432^0, mithin bei 0^0 noch 80^0 mehr oder 512, bei 50^0 aber 462 und bei 100^0 endlich 412. Kennt man demnach mittelst des Thermometers die sensibele Wärme des Dampfes, so darf man diese nur von 512 abziehen, um seine latente zu erhalten. So wie die Dämpfe des Wassers haben auch die aller übrigen Flüssigkeiten latente Wärme, alle aber eine geringere, und auch bei ihnen ist die Summe der latenten und sensibelen stets gleich. Ihre Kenntniss ist minder wichtig, und daher sind sie weniger untersucht, doch gehören folgende Bestimmungen zu den genauesten. Es ist bei ihrem Siedepuncte die latente Wärme des Alkohols 170^0, des Schwefeläthers 72^0 und des Terpenthinöls 60^0.

127) Die latente Wärme des Dampfes, welche beim Uebergange desselben zu Wasser frei wird, macht ihn geeignet zur Dampfheizung (§. 96), und erklärt leicht die grosse Hitze solcher Räume, welche von ihm erfüllt sind. Strömt z. B. 1 Pfund Wasserdampf, oder 1 Pfund in siedenden Dampf verwandeltes Wasser durch die

Heizröhren eines Zimmers, und wird er in Wasser von 40^0 verwandelt, so giebt er 432^0 latente und 40^0 sensibele, also zusammen 472^0 Wärme ab, d. h. er vermag 472 Pfund Wasser um 1^0 zu erwärmen. Nehmen wir an, die Luft sey 800 mal dünner, und ihre specifische Wärme (§. 122) 3 mal geringer, als die des Wassers, so würde hierdurch ein $472 \times 800 \times 3 = 1132800$ mal so grosses Volumen Luft, als das des Wassers um 1^0 oder 56640 mal dieses Volumen Luft um 20^0 erwärmt werden. Allerdings ist der Rauminhalt von 1 Pfund Wasser sehr klein gegen den Rauminhalt eines nur mässigen Zimmers, und es erfordert viel Brennmaterial, bis 1 Pfund Wasser verdampft ist, allein dennoch kann man sich durch diese Betrachtung eine Vorstellung von dieser Methode des Heizens machen. Auch von der durch Verwandlung des Wassers in Eis frei werdenden latenten Wärme macht man einen praktischen Gebrauch, ohne das eigentliche Wesen dieses Processes zu kennen. Nicht selten werden neben Früchte und sonstige Sachen zum Schutze gegen das Erfrieren Gefässe mit Wasser, ja selbst unter Bäume und Stauden gestellt. Man sagt, das Wasser ziehe die Kälte an, und führt auch wohl Strohseile von den Bäumen in das Wasser herab, um die Ableitung der Kälte zu erleichtern. Die Thatsache ist richtig, die Erklärung aber falsch; denn da es keine Kälte an sich giebt, so kann sie auch nicht abgeleitet werden; vielmehr gefriert das Wasser stets etwas leichter, als die Früchte und die Blätter der Bäume, die im Wasser enthaltene, bei der Eisbildung frei werdende, latente Wärme von 63^0 theilt sich der umgebenden Luft mit, macht diese aufsteigen, und sichert die Umgebung gegen das Herabgehen unter 0^0, die Strohseile aber bewirken, dass die etwas erwärmte Luft minder leicht seitwärts abgeführt wird.

128) Die Eigenschaft des Wassers, bei der Entstehung aus Eis eine so bedeutende Menge Wärme zu binden und beim Uebergang zur Starrheit wieder frei zu machen, ist nicht bloss von grossem Nutzen, sondern ein grosser Theil unserer Erde würde ohne sie gar nicht bewohnbar seyn. Wäre sie nicht, so würde

alles Wasser, selbst das der Seen und Flüsse, ja sogar des Oceans bei einer Temperatur unter 0^0 sofort in Eis verwandelt werden, und künstliche Mittel würden kaum hinreichen, uns den nöthigen Bedarf von Wasser zu verschaffen; in Folge des Freiwerdens der latenten Wärme desselben ist aber das Verhalten ein ganz anderes. Denken wir uns ein Gefäss oder einen Teich mit Wasser, so wird beim Herabgehen der Temperatur unter den Gefrierpunct zunächst die Oberfläche durch Abgeben ihrer Wärme erkalten, und ein Theil des Wassers in Eis verwandelt werden. Der krystallisirte Theil giebt dabei aber 63^0 Wärme ab, oder es wird eine 63mal grössere Masse um 1^0 erwärmt. Dennoch aber entsteht durch anhaltenden Verlust der Wärme eine aus allmälig geformten Nadeln gebildete Eisdecke. Soll diese dicker werden, also an ihrer unteren Fläche sich neues Eis ansetzen, so müssen die hierdurch aus dem latenten Zustande hervorgehenden 63^0 Wärme durch das schlecht leitende Eis (§. 115) dringen, und von der Oberfläche abgeführt werden, die gebildete Schicht kann daher nur dünn seyn, ihre Bildung erfordert eine desto längere Zeit, je dicker die Eisschicht bereits geworden ist, und hierin liegt der Grund, weswegen die Teiche an den Küsten Nordamerica's bei der dortigen furchtbaren Kälte nie mehr als 10 bis 12 Fuss dickes Eis erhalten. Wenn es in wärmeren Gegenden mitunter dickeres Eis giebt, so liegt die Ursache im Gefrieren des über das Eis strömenden, oder beim Sinken desselben überströmenden Wassers, in der Anhäufung des Schnees u. s. w., denn auf diese Weise werden auch in den Polarmeeren die 1000 bis sogar 2000 Fuss dicken Eisberge gebildet, die nur um ihren zehnten Theil aus dem Wasser hervorragen, und zuweilen auf dem Grund aufsitzen. Noch ungleich wichtiger für die Operationen der Natur im Grossen ist das Latentwerden der Wärme beim Aufthauen des Eises; denn wäre dieses nicht, so würde alles im Winter gebildete Eis und die ganze Masse des gefallenen Schnees bei einer Temperatur über 0^0 sofort in Wasser verwandelt werden, und Ueberschwemmungen erzeugen, mit denen die jetzigen sich gar nicht vergleichen lassen. Unbedeutend hingegen ist, dass

das langsame Aufthauen des Eises die Möglichkeit gewährt, dasselbe während des Sommers aufzuheben, wenn man nur sorgt, dass die dasselbe enthaltenden Keller durch schlecht leitende Körper, namentlich Strohdächer, gegen das Eindringen der Wärme geschützt sind, und das wenige gebildete Wasser einen Abfluss findet.

128) Da die krystallisirten Salze beim Uebergange zum Flüssigkeitszustande Wärme binden, dieses aber beim Eise vorzugsweise der Fall ist, so liegt hierin ein Mittel, eine starke künstliche Kälte hervorzubringen, wenn man die Salze in eine Flüssigkeit bringt, worin sie sich schnell auflösen, noch mehr aber, wenn man Krystalle, die sich in Wasser schnell auflösen, mit Eis oder Schnee mischt, und dadurch gleichzeitig die schnelle Auflösung beider bewirkt. Dabei versteht sich von selbst, dass man das gehörige Mengenverhältniss einzuhalten habe; denn wählte man zu wenig Flüssigkeit, so würden sich die Salze nicht gänzlich lösen, nähme man aber zu viel, so könnte die grosse Masse nicht hinlänglich erkalten. Hiermit ist das ganze Verfahren klar dargestellt, und es genügt daher für praktische Zwecke nur noch diejenigen Verbindungen anzugeben, durch welche sich eine bedeutende Kälte erzeugen lässt, wobei sich von selbst versteht, dass man die Gefässe mit den kaltmachenden Körpern gegen zu starkes Eindringen der äusseren Wärme schützen müsse, weswegen die Versuche bei sehr niederer Temperatur am besten gelingen, oder man das Gefäss mit der kaltmachenden Mischung, nachdem das Ganze vorher möglichst erkaltet ist, in ein anderes grösseres mit einer kaltmachenden Mischung stellt. Das einfachste und gewöhnlichste Verfahren ist das der Conditor bei der künstlichen Eisbereitung, indem sie zerstossenes Eis mit Kochsalz mischen. Das Kochsalz nimmt begierig Wasser auf, bewirkt also das Schmelzen des Eises, und indem beide hiernach zerfliessende Krystalle Wärme latent machen, entziehen sie diese dem hineingesetzten Gefässe, dessen Inhalt gefriert, während sie selbst in den Flüssigkeitszustand übergehen. Auch Salze allein, ohne Eis oder Schnee, geben eine Kälte, worin man kleine Mengen Wasser zum Ge-

frieren bringen kann. Hierzu dienen gleiche Theile gepulverter Salmiak und Salpeter, die man im kalten Wasser löset; und da man die Salze aus ihren Lösungen durch Abdampfen des Wassers wieder in Krystallen darstellen kann, so lassen sie sich wiederholt zu diesem Zwecke benutzen. Wirksamer sind 6 Loth Salmiak, 6 Loth Salpeter und 9 Loth Glaubersalz, jedes für sich fein gepulvert, gemengt und in 20 Loth Wasser gelöset; doch lässt sich dieses Gemenge nicht wiederholt anwenden, weil die einzelnen Salze wieder getrennt werden müssten; die genannten Salze sind kostbar, und es wird ausserdem eine nicht geringe Menge derselben erfordert, wenn man auch nur etliche Loth Eis erzeugen will, da man nicht wohl umhin kann, das kleine Gefäss, worin das Wasser gefrieren soll, in ein etwas grösseres mit den genannten Salzen, und dieses wieder in ein noch grösseres, gleichfalls mit diesen Salzen gefülltes, zu stellen, dann zuerst in das äussere die erforderliche Menge Wasser zu schütten und unter beständigem Umrühren abzuwarten, bis die Temperatur nicht weiter sinkt, also das kleinere Gefäss mit den Salzen möglichst abgekühlt ist, und dann erst das in dem grösseren Gefässe gleichfalls erkaltete Wasser in das kleinere zu schütten; man wird daher dieses Mittel zur Erzeugung künstlicher Kälte nicht leicht anwenden, es sey denn, dass man für einen Kranken etwas Eis bedürfte, und daher Mühe und Kosten nicht scheuete. Soll dagegen ein hoher Grad Kälte erzeugt werden, so eignet sich hierzu nur die Zeit des Winters, wo die äussere Wärme nicht hindernd im Wege steht, und dann wird man zugleich das ohnehin in genügender Menge vorhandene Eis wählen. Dass die Conditoren sich des Kochsalzes zur Eisbildung bedienen, geschieht deswegen, weil dieses Salz am wohlfeilsten und am nächsten zur Hand ist, denn Glaubersalz, Salpeter, Salmiak u. s. w. sind weit wirksamer, wie schon aus dem Gesagten folgt. Noch wirksamer aber zeigen sich Säuren, namentlich Schwefelsäure; denn ungeachtet sich diese durch Zutritt des Wassers erhitzen (§. 44), so bewirken sie dennoch ein so schnelles Zerfliessen des Eises, dass dadurch eine enorme Kälte entsteht. Verdünnte Schwefelsäure giebt auch durch

Verbindung mit Salzen, namentlich mit Glaubersalz, in Folge schneller Auflösung bedeutende Kälte; die stärkste Wirkung aber wird erhalten, wenn man 4 Theile gemeine Schwefelsäure zu 1 Theil Wasser dem Gewichte nach giesst, in einer Mischung von Schnee und Kochsalz möglichst tief erkältet, und dann zu einem gleichen Gewichte in der nämlichen Mischung gleichfalls erkalteten Schnees schüttet. Sind die Massen nicht zu klein, so kann man hiermit das Quecksilber zum Gefrieren bringen, und zwar um so leichter, je mehr man durch Anwendung kaltmachender Mischungen das Quecksilber und die zu mischenden Substanzen vorher einzeln erkaltet. Noch höhere Kälte wurde durch 8 Theile gepulverten krystallisirten salzsauren Kalk und 6 Theile Schnee erhalten, die man in Schichten, durch dünne Korkscheiben getrennt, über einander brachte, in einer kaltmachenden Mischung möglichst erkältete und dann mit einem Glasstabe schnell mengte; indess ist die Darstellung und das Pulvern des krystallisirten salzsauren Kalkes mühsam.

129) Die auf die angegebene Weise erzeugte Kälte muss ihre Grenze haben; denn da namentlich der Schnee nur 63^0 Wärme bindet, so kann er auch selbst in dem unerreichbaren Falle, dass er plötzlich und ohne irgend einen Verlust diese sämmtliche Wärme bei seinem Zerfliessen verschluckte, keine grössere Kälte erzeugen. Inzwischen liegt die erreichbare Grenze noch bedeutend näher, denn das Salzwasser und die verdünnte Schwefelsäure gefrieren selbst bei hohen Kältegraden, und dann tritt das umgekehrte Verhalten, nämlich Wärmeentbindung, ein, weswegen die Kälteerzeugung nicht weiter gehen kann, als wo noch Auflösung stattfindet. Richtet man dagegen sein Augenmerk auf das zweite Mittel der Wärmebindung, nämlich die Verdampfung, und überlegt man zugleich die ungeheure Menge Wärme von 512^0, welche bei 0^0 Temperatur im Wasserdampfe latent wird, so folgt schon hieraus von selbst, dass es möglich seyn muss, durch künstlich erzeugte starke Verdampfung sehr hohe Kälte hervorzubringen. Dass die Verdampfung der Flüssigkeiten Abkühlung verursache, wusste man lange, und ist auch allgemein bekannt. Will man im Freien die

Richtung des schwach wehenden Windes wissen, so darf man nur den Zeigefinger im Munde benetzen, und vertical in die Höhe halten, und ein scharf bezeichneter, in Folge stets zuströmender frischer Luft durch Verdampfung erkalteter, Strich zeigt genau die Windrichtung. Das Wedeln mit einem Fächer, Blasen und Zugluft entfernen zwar die bereits erwärmte Luft von der Oberfläche des Körpers, und kühlen durch neu herbeigeführte ab, noch mehr aber geschieht dieses durch die beförderte Verdampfung des Schweisses. Aus gleicher Ursache sind nasse Kleider der Gesundheit nachtheilig, heisse Zimmer lassen sich durch Aussprengen von Wasser, noch mehr von cölnischem Wasser abkühlen, man benetzt die Stirn mit letzterer Flüssigkeit und bläst dagegen, um Kopfschmerzen durch Abkühlung zu vermindern; Wasser in porösen Gefässen, wie die *Alcaruzzas* in Spanien, dem Luftzuge ausgesetzt, bleibt kalt; auf den Schiffen in der heissen Zone umwickelt man die Weinflaschen mit Leinen, taucht sie in Seewasser, und hängt sie zwischen den Tauen auf, um sie durch den Luftzug abzukühlen u. s. w. Zu Benares in Ostindien, wo des Morgens vor Sonnenaufgang die Temperatur sehr niedrig (§. 86), die Luft ausnehmend trocken und daher die Verdampfung ungemein stark ist, setzt man Abends auf Stroh in flachen Gruben poröse irdene Gefässe mit Wasser, und findet dieses dann am Morgen mit einer dünnen Schicht Eis überzogen, welches man zur Abkühlung der Getränke verwendet. Sehr hohe Kälte wird erzeugt, wenn man die Verdampfung durch künstliche Mittel verstärkt, indem man fortwährend die Luft, welche das freie Aufsteigen des Dampfes hindert, durch Auspumpen wegnimmt, und damit zugleich den schon gebildeten Dampf entfernt, oder noch besser diesen durch geeignete Substanzen, am besten durch Schwefelsäure, aufsaugen lässt. Um diesen interessanten Versuch anzustellen, setzt man ein flaches Gefäss mit Schwefelsäure unter eine Glocke, befestigt an der Kugel eines feinen Thermometers einen kleinen mit Wasser getränkten Schwamm, hängt diesen in etwa 1 Zoll Abstand über der Schwefelsäure auf, und pumpt die Luft stark aus. Bald sinkt das Thermometer, kommt nach einiger Zeit auf 0^0 und

kt dann noch etliche Grade tiefer hinab. Nachdem der Apparat aus einander genommen worden ist, zeigt sich der Schwamm gänzlich gefroren, obgleich sich die Schwefelsäure unter ihm durch Aufnahme des Wasserdampfes etwas erhitzt hat; Wasser in flachen Gefässen, die neben oder über das Gefäss mit Schwefelsäure gestellt sind, gefriert gleichfalls, und in Ostindien hat man versucht, auf diese Weise Eis zur Abkühlung der Getränke in grösserer Menge zu bereiten. Da auch das Eis verdampft, so lässt sich mittelst einer guten Luftpumpe und Abkühlung der Glocke von aussen selbst das Quecksilber gefrieren machen, wenn man eine kleine Menge desselben in eine Vertiefung im nassen Schwamme bringt und das Auspumpen hinlänglich lange fortsetzt. Verschiedene Flüssigkeiten, als Alkohol, Schwefeläther und Schwefelkohlenstoff, verdampfen noch stärker, als Wasser, und erzeugen daher eine noch grössere Kälte. Wird ein Thermometer, dessen Kugel mit Baumwolle oder Leinen umwickelt, und mit Schwefelkohlenstoff getränkt ist, unter einer Glocke aufgehangen, so geht dasselbe bei schnellem Auspumpen bis unter den Gefrierpunct des Quecksilbers herab. Ein leichter und interessanter Versuch ist, wenn man auf den Teller einer Luftpumpe ein Uhrglas mit etwas Wasser stellt, in dieses ein anderes convexeres Uhrglas mit Schwefelkohlenstoff stellt, eine kleine Glocke darüber stürzt und auspumpt. Bald wird der Schwefelkohlenstoff abnehmen, das Wasser zwischen beiden Gläsern aber in Eis verwandelt seyn; ja wenn ein Tropfen Wasser in den Schwefelkohlenstoff gekommen ist, welcher auf dessen Oberfläche ruhet, so wird auch dieser in Eis verwandelt. Noch stärkere Wirkungen zeigt die schweflige Säure, allein da diese in freier Luft bei 8^0 Kälte schon siedet, Versuche also nur in einer äusseren, noch niedrigeren, Temperatur möglich sind, so liegt hierin ein grosses Hinderniss ihrer Behandlung. Zudem ist der Schwefelkohlenstoff den Kolben und Ventilen der Luftpumpen zwar nur wenig, die schweflige Säure aber sehr nachtheilig.

130) Auf die Kälteerzeugung durch Verdampfung des Wassers ist ein interessanter, von *Wollaston* erfundener und *Kryophorus* genannter, Apparat gegründet. Nach der besten Construction be-

steht derselbe aus einem etwa 3 Zoll langen und $1^1/_2$ Zoll weiten gläsernen Gefässe *B* mit der 8 Zoll langen und fast $^1/_2$ Zoll weiten Röhre *a b*, welche oben umgebogen und mit der 3 bis 4 Zoll weiten Kugel *A* versehen ist. Der Apparat wird mit reinem Wasser gefüllt, dieses zum Sieden gebracht und so lange darin erhalten, bis alles Wasser ausser einem Reste von etwa 4 bis 6 Esslöffel voll als Dampf aus dem kleinen Röhrchen *a* entwichen ist. Noch während des Siedens wird die Spitze dieses Röhrchens mit Siegellack verschlossen, damit keine Luft eindringen kann, der Apparat vom Feuer genommen, erkaltet, und das Röhrchen mittelst der Lampe zugeblasen, so dass sich der Rest des Wassers im vollkommen luftleeren Raume befindet, wie sich durch das harte Anschlagen desselben gegen die Wandungen zeigt. Beim Gebrauche vertheilt man das Wasser in der Kugel und dem Gefässe zu gleichen Theilen, stellt das Gefäss in eine kaltmachende Mischung aus zerstossenem Eise und Kochsalz, und sieht dann, wie sich das Wasser in der Kugel plötzlich, selbst im warmen Zimmer, in Eis verwandelt, obgleich das im Gefässe befindliche noch nicht vollständig gefroren ist. Das Phänomen erklärt sich leicht; denn das im Gefässe erkaltete Wasser nimmt im leeren Raume begierig den aus dem Wasser der Kugel frei werdenden Dampf auf, durch dessen Bildung dieses Wasser selbst gefriert.

131) Die höchsten bis jetzt erreichten Kältegrade werden durch die feste Kohlensäure oder fest gewordenes kohlensaures Gas hervorgebracht. Da die Dämpfe der Flüssigkeiten, wenn man ihnen beim Destilliren die Wärme entzieht, oder sie in einen engeren Raum zusammendrückt, in den Zustand des Tropfbarflüssigseyns wieder zurückkehren, so liess sich erwarten, dass die ihnen ähnlichen Luftarten, auch Gase genannt, eine ähnliche Veränderung erleiden könnten. Bei den hierüber angestellten Versuchen erreichte *Thilorier* glücklich seinen Zweck; er stellte durch sehr starken Druck das kohlensaure Gas in tropfbar flüssiger Gestalt dar, und bemerkte dann zu seiner Ueberraschung,

dass die dem äusseren Druck entnommene, frei hingestellte, Flüssigkeit durch Verdampfung einen Grad der Kälte erzeugte, wodurch sie selbst in eine feste, lockere, dem zusammengeballten Schnee gleichende, Masse verwandelt wurde. Die Erscheinung hat einige Aehnlichkeit mit dem Gefrieren des Wassers durch eigene Verdunstung; die feste Kohlensäure unterscheidet sich aber dadurch vom Eise, dass sie durch Aufnahme der Wärme nicht wieder flüssig, sondern in kohlensaures Gas verwandelt wird. Es folgt schon von selbst, dass die hierzu erforderliche Wärmemenge sehr gross seyn muss, denn eben deswegen wird die feste Substanz nicht flüssig, sondern so tief erkaltet, dass sie stets in einem, dem Eise gleichen, Zustande bleibt. Ihre Verwandlung erfolgt aber eben daher langsam; man kann sie in ein Sacktuch wickeln und stundenlang in der Tasche tragen, bis sie zuletzt spurlos verschwunden ist. Ebendaher entzieht sie allen von ihr berührten Körpern gewaltsam Wärme, zerstört die Haut sofort und erzeugt erstorbene Flecke, die denen durch Brand erzeugten gleichen; ein in sie gesteckter Finger würde aber augenblicklich für immer erstorben seyn. Durch die enorme, bis 80^0 unter 0 herabgehende Kälte, die sie für sich, oder in Verbindung mit Schwefeläther verdampfend erzeugt, eignet sich die feste Kohlensäure sehr zu interessanten und wichtigen Versuchen, abgesehen davon, dass ihr Verhalten an sich höchst überraschend ist; leider aber kann sie nicht ohne Gefahr bereitet werden, und hat schon ein Menschenleben gekostet, indem ein hoffnungsvoller junger Chemiker in Paris durch einen zerspringenden Apparat tödtlich verwundet wurde.

132) Fragen wir endlich, wie das Latentwerden der Wärme zu erklären, oder, was einerlei ist, wie es mit der Theorie der Wärme in Uebereinstimmung zu bringen sey, so herrscht hierüber allerdings noch Dunkelheit, weil wir das eigentliche Wesen der Wärme noch nicht genau, vielmehr nur ihr Verhalten und dessen Gesetze kennen; inzwischen lässt sich Folgendes darüber sagen, was mindestens unsere Vorstellung von der Sache erleichtert. Wenn wir annehmen, dass alle Körper aus unmessbar kleinen Theilchen bestehen, die sich einander anziehen, zugleich aber

eine ungleiche Menge Wärme, die gleichfalls durch Anziehung gebunden ist, zwischen sich haben (§. 36), so beruhet die specifische Wärmecapacität der Körper einfach auf der ungleichen Verwandtschaft der Körperelemente zum Wärmestoffe, von dem sie daher eine ungleiche Menge aufnehmen, aber wie tropfbare Flüssigkeiten mehr oder weniger in die verschiedenen Körper eindringen. Das Frei- und Latentwerden der Wärme lässt sich dann gleich einfach erklären. Zu den starren Körpern tritt mehr Wärme, die ihre Temperatur nicht erhöhet, sondern bloss bewirkt, dass ihre kleinsten Theilchen sich weiter von einander entfernen, und ohne Widerstand über einander hingleiten, was eben den Flüssigkeitszustand giebt. Sofern aber die Dämpfe und Luftarten sehr dünn sind, mithin ihre Elemente einen grossen Abstand von einander haben, so folgt schon hieraus von selbst, dass die Flüssigkeiten beim Uebergange in diesen Zustand des Ausgedehntseyns eine grosse Menge Wärme aufnehmen müssen. Dieser Erklärung angemessen ist nicht bloss die grosse Menge der aus Dämpfen und Gasen frei werdenden Wärme, sondern auch die Leichtigkeit, womit dieses, namentlich durch blosse Zusammendrückung (§. 37), geschieht.

IV.

Wirkungen der Wärme.

133) Die Aufzählung aller Wirkungen der Wärme wäre eine nicht bloss schwierige, sondern genau genommen sogar eine unmögliche Aufgabe, denn zu ihrer Lösung müssten wir den Zustand der Körper dann kennen, wenn sie von aller Wärme frei sind, und die Veränderungen aufsuchen, welche das Hinzukommen derselben erzeugt. Wir sind jedoch dieses sicheren Mittels beraubt,

und es steht uns nur das minder sichere zu Gebote, wonach wir von dem Einflusse der vermehrten Wärme auf deren Wirkungen überhaupt schliessen. Ein grosser Theil derselben drängt sich von selbst auf. Ohne das Vorhandenseyn der Wärme überhaupt würden alle Körper im Zustand der Starrheit seyn; wir hätten keine Gase, keine tropfbare Flüssigkeiten und die organischen Körper des Pflanzen- und Thierreichs könnten gar nicht existiren, weil bei ihnen Bewegung der Säfte in den Gefässen (Organen) nothwendige Bedingung ist. Selbst die unorganischen Körper würden einen Grad der Sprödigkeit haben, welcher weit über unsere Vorstellung hinausgeht, denn schon bei den höchsten Kältegraden, welche die englischen Reisenden im americanischen Polarmeere erlebten, konnten eiserne und stählerne Werkzeuge kaum gebraucht werden, weil die Beile, Meissel und Nägel wie Glas zersprangen. Das Glas erhält schon bei einigen Graden über 0, noch mehr aber unter dem Gefrierpunkte, einen so hohen Grad der Sprödigkeit, dass es nicht bloss leicht zerbricht, sondern auch durch Erwärmung zerspringt. Man kann in ein, besonders schon älteres, Trinkglas von etwa 50° bis 20° meistens ohne Gefahr siedendes Wasser giessen, wie dieses in mehreren Gegenden Italiens beim Einschenken des kochend heissen Kaffees in Biergläser sich zeigt; in ein bis 0° oder darunter erkaltetes darf man aber nicht sicher 20° bis 30° warmes Wasser schütten. Dass die Temperatur einen grossen Einfluss auf die chemischen Verbindungen habe, ist bereits oben (§. 62—64) gezeigt, auch wächst im Ganzen das Auflösungsvermögen aller Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, bedeutend durch Vermehrung der Wärme (§. 164). Ferner äussert dieselbe einen bedeutenden Einfluss auf die Pflanzenwelt (§. 32) und nicht minder auf das thierische Leben, indem dieses im Allgemeinen durch sie erregt wird, und namentlich das weibliche Geschlecht in wärmeren Gegenden früher zur Reife kommt, aber meistens auch schneller verblühet. Zu starke Erregung des Lebensprocesses durch übermässige Wärme wirkt nachtheilig, und erzeugt die Fieber heisser Gegenden. Es genügt indess, alles dieses, was allgemein bekannt ist, nur anzudeuten; wichtiger dagegen ist es,

der tropfbaren Flüssigkeiten; denn nicht bloss sind die Grössen der Ausdehnung bei den einzelnen sehr verschieden, sondern auch nach den Temperaturen ungleich, indem die Flüssigkeiten sich z. B. für 5^0 Wärmezunahme von 10^0 bis 15^0 weniger ausdehnen, als von 25^0 bis 30^0. Die Abweichungen sind so bedeutend, dass man sich genöthigt sah, für die wichtigsten Flüssigkeiten die Ausdehnungsgesetze einzeln aufzusuchen.

137) Das Quecksilber dehnt sich innerhalb gewöhnlich vorkommender Temperaturen, man darf annehmen zwischen -20^0 und $+150^0$, so gleichmässig aus, dass auch für die feinsten Messungen kein Unterschied wahrnehmbar wird, und zwar beträgt dieselbe $\frac{1}{4440}$ für 1^0 Wärmezunahme. Diese Bestimmung ist wichtig, denn man bedient sich dieses Metalls häufig, um den Inhalt von Gefässen zu messen, indem man sie mit Quecksilber füllt, und dieses wiegt. Nach den genauesten Messungen wiegt ein Kubik-Centimeter Quecksilber bei 0^0 Wärme 13597 Milligramme, und betrüge also das Gewicht des ein Gefäss ausfüllenden Quecksilbers 20000 Milligramme bei 12^0 Temperatur, so wäre sein Inhalt $\frac{20000}{13597} \times (1 + \frac{12}{4440})$ Kubik-Centimeter. Hierbei müsste noch die Ausdehnung des Gefässes selbst mit berechnet werden, was wir indess hier übergehen. Noch wichtiger ist die Bestimmung für die Berichtigung des Barometerstandes. Das Barometer ist bekanntlich eine Glasröhre mit einer frei in ihr schwebenden, durch den Druck der auf dem Quecksilber im andern Schenkel der Röhre oder im Gefässe ruhenden atmosphärischen Luft gehobenen, Quecksilbersäule. Diese letztere muss so viel höher werden, je stärker die Luft drückt, und die wachsende Stärke des Luftdruckes lässt sich daher durch die veränderte Länge der gehobenen Quecksilbersäule genau messen; wenn aber die Wärme das Quecksilber ausdehnt, so wird die Säule zwar länger, aber nicht schwerer, und das Barometer steigt, ohne Vermehrung des Luftdrucks. Um also die verschiedenen Barometerstände genau vergleichen und den veränderlichen Luftdruck danach messen zu können, muss der Einfluss der Wärme auf die Länge der Quecksilbersäule abgezogen, d. h. der Barometerstand muss corrigirt werden. Aus diesem Grunde

befindet sich neben der Röhre guter Barometer stets ein Thermometer, dessen Stand zugleich mit dem des Barometers aufgeschrieben wird. Zeigte dann das Barometer z. B. 334 Linien Höhe und sein Thermometer 15^0 Wärme, so wäre sein corrigirter, oder auf 0^0 reducirter, Stand $334 - \frac{334 \times 15}{4440} = 334 - \frac{5010}{4440} =$ ungefähr $332 \frac{813}{1000}$ Linien. Da sich aber nicht bloss das Quecksilber, sondern auch die Skale des Barometers durch Wärme ausdehnt, und beide Wirkungen einander entgegengesezt, die Skalen aber verschieden eingerichtet sind, so pflegt man für scharfe Beobachtungen Tabellen zu verfertigen, und danach die Verbesserungen ohne jedesmalige mühsame Rechnung zu entnehmen. Die Sache ist hier nur deswegen erörtert, um nachzuweisen, dass ein Barometer in Folge der Wärme zu steigen oder zu fallen scheinen könne, obgleich in der Wirklichkeit das Gegentheil statt findet, und dass man daher jederzeit den Stand des nicht ohne Grund am Barometer befestigten Thermometers mit aufzeichnen müsse.

138) Die Ausdehnung des Wassers durch Wärme ist nicht bloss für die praktische Anwendung gleich wichtig, sondern erscheint auch an sich betrachtet höchst auffallend. Hat man Wasser von 0^0 Wärme, so dehnt sich dieses durch Erhöhung der Temperatur nicht bloss nicht aus, sondern zieht sich vielmehr zusammen, bis es $3^1/_5$ Grad warm ist. Von diesem Puncte an, welchen man den Punct seiner grössten Dichtigkeit nennt, weil es dann das geringste Volumen und das grösste specifische Gewicht hat, dehnt sich dasselbe zunehmend aus, hat bei $6^2/_5$ Grad gleiche Dichtigkeit, als bei 0^0, und seine Ausdehnung schreitet von hier aus in der Art regelmässig fort, dass sie mit zunehmenden Temperaturen auch an sich stets grösser wird. So dehnt sich dasselbe z. B. für die 8 Grade zwischen 8^0 und 16^0 um 1450, für die 8 Grade zwischen 40^0 und 48^0 aber um 4828 Millionstel seines Volumens aus. Da diese Eigenschaft der zunehmend stärkeren Ausdehnung nicht bloss dem Wasser, sondern auch den übrigen tropfbaren Flüssigkeiten, dem Weingeiste

sogar in noch höherem Grade, zukommt, so beruhet hierauf die oben (§. 4) erwähnte geringere Brauchbarkeit desselben zur Verfertigung von Thermometern, sofern bei ihnen die Grade von 0 bis 80 nicht unter sich gleich, sondern zunehmend grösser seyn müssten, um die wirkliche Zunahme der Wärme zu bezeichnen.

139) Die Ausdehnung des Wassers durch Wärme ist zwar nicht sehr gross, denn sie beträgt von $3^1/_5$ Grad oder vom Puncte seiner grössten Dichtigkeit bis zum Siedepuncte nur 42134 Millionstel, also nicht voll ein halbes Hundertstel des Ganzen; dennoch aber verdient sie bei allen feinen Messungen beachtet zu werden, wovon man sich durch einen einfachen Versuch überzeugen kann. Man nehme zu diesem Ende eine etwas grosse Flasche mit engem Halse, fülle sie mit Wasser von 3° bis an einen Strich, oder einen umgebenden Faden, und bringe sie in ein warmes Zimmer, so wird das Wasser über das gemachte Zeichen steigen, und zwar um so mehr, je grösser die Flasche, je enger der Hals und je höher die Temperatur ist. Hieraus ergiebt sich, dass Gefässe, die man dadurch aicht, dass man ein gewisses Gewicht Wasser hineingiesst, eine zu grosse Aiche erhalten, wenn man warmes Wasser anwendet, und dass der Verkäufer einen grössern Vortheil hat, wenn er Spiritus, Oel u. s. w. warm ausmisst, als wenn diese Flüssigkeiten kalt sind. Bei'm Aichen der Normalmasse wird daher Wasser von $3^1/_5$ Grad Wärme genommen; werden aber mit diesen Normalgefässen andere geaicht, so ist die Wärme des Wassers gleichgültig, vorausgesetzt, dass man es aus dem Normalgefässe in das zu aichende giesst, ohne die Temperatur desselben zu ändern. Bei der genauen Bestimmung des specifischen Gewichtes der Körper muss nicht nur die Ausdehnung des Wassers, womit man die Körper vergleicht, sondern auch die der Körper selbst beachtet werden, und man nimmt daher, um Uebereinstimmung zu erhalten, das Wasser bei $3^1/_5$ Grad, die Körper aber bei 0° an, und bemerkt auf allen Fall, bei welcher Temperatur die Wägung vorgenommen worden sey, wenn man die Verbesserung nicht selbst berechnen will. Die Sache ist übrigens nicht bloss in wissenschaftlicher Beziehung, sondern auch

in rein praktischer von grosser Bedeutung. So entstand einst ein weitläufiger Process zwischen einem Gutsbesitzer und seinem Pachter, weil der von letzterem als Zahlung abgelieferte Branntwein im Winter als zu schlecht verworfen wurde, obwohl die Bereitung zu allen Jahreszeiten mit gleicher Sorgfalt geschah. Der Grund lag darin, dass im Winter der durch Kälte mehr zusammengezogene Branntwein minder gehaltreich an Spiritus zu seyn schien. Für den praktischen Gebrauch ist es daher am kürzesten und sichersten, solchen Branntwein, welcher contractmässig als genügend gilt, bei einer mittleren Temperatur von etwa 13^0, wie sie im Sommer in kühlen Räumen, im Winter aber in erwärmten Zimmern zu seyn pflegt, zu nehmen, in diesen die Branntweinwaage zu senken, und ihren Stand zu bezeichnen, oder eine etwas grosse Flasche mit engem Halse bis an ein Zeichen damit zu füllen und auf einer Waage zu wiegen, demnächst aber bei den Ablieferungen die nämliche Temperatur herzustellen, und die Spindel dann einzusenken oder die gefüllte Flasche zu wägen, und es wird sich dann genau ergeben, ob die gelieferte Flüssigkeit die nämliche, oder eine geringere Güte hat. Ein ganz gleiches Verfahren lässt sich auch bei der Prüfung der zu versiedenden Salzsolen, oder Alaun-, Salpeter-, Pottasche-Laugen u. s. w. anwenden.

140) Die merkwürdige Eigenschaft des Wassers, wornach es sich durch Vermehrung der Wärme von derjenigen Temperatur an, wobei es flüssig geworden ist, also von 0^0 an, zuerst zusammenzieht, dann aber wieder ausdehnt, also etliche Grade über seinem Gefrierpuncte die grösste Dichtigkeit erhält, zeigt sich zwar auch bei einigen andern Flüssigkeiten; allein theils ist es schwer, hierüber genauere Bestimmungen zu erhalten, theils findet es erst bei höheren Kältegraden statt, und unterliegt namentlich bei den Salzlösungen anderweitigen Bedingungen, worauf wir hier nicht weiter eingehen wollen; dagegen aber verdient das Wasser gerade in dieser Beziehung noch näher betrachtet zu werden. Da dasselbe bei $3^1/_5$ Grad dichter, also auch specifisch schwerer ist, als bei 0^0, so muss dieses wärmere Wasser im kälteren niedersin-

ken, statt dass die sonstigen wärmeren Flüssigkeiten, eben wie das über $6^3/_5$ Grad wärmere Wasser, in den kälteren aufsteigen. Hieraus erklärt sich eine von *Rumford* entdeckte merkwürdige Erscheinung. Wenn auf Eisfeldern und Gletschern an irgend einer Stelle ein Steinchen oder ein sonstiger dunkler Körper durch die Sonnenstrahlen erwärmt wird, und einen Theil Eis schmelzt, das dadurch gebildete Wasser aber eine etwas höhere Temperatur erhält, so sinkt dieses als specifisch schwerer herab, theilt seine Wärme dem berührten Eise mit, schmelzt einen Theil desselben und steigt mit dem erzeugten kälteren Wasser empor, um wieder durch die Sonne erwärmt zu werden und abermals herabzusinken, und so entstehen mit Wasser gefüllte Vertiefungen von ungleichen Durchmessern und nicht selten etliche Fuss betragenden Tiefen, zuweilen unten von grösserem Durchmesser als oben. Ein ähnliches Verhalten findet bei den Seen mit süssem Wasser statt, deren Inhalt nicht, wie der der Flüsse, durch die Strömung durch einander geschüttelt wird. Erkaltet die Oberfläche, so sinkt das dichtere Wasser herab, das wärmere, leichtere tritt an seine Stelle, wird gleichfalls abgekühlt und senkt sich; jedoch geht dieses nicht weiter, als bis zu $3^1/_5$ Grad, denn das leichtere Eiswasser bleibt oben, eben wie im Sommer das über $6^2/_5$ Grad erwärmte. Sind dann die Seen tief, so dass die Sonnenstrahlen nicht bis zum Boden dringen, und das darüber stehende Wasser nicht bis über die letztere Temperatur erwärmen können, so bleibt das kältere, schwerere unten, und hieraus erklärt sich, warum das Wasser der Seen, namentlich in der Schweiz, in etwa 20 bis 30 Fuss Tiefe die Temperatur von ungefähr 4^0 annimmt, und diese bis zu den grössten Tiefen von mehreren hundert Fuss im Winter wie im Sommer stets beibehält. Wegen der Merkwürdigkeit und der vielfachen Anwendung der Ausdehnungsgesetze des Wassers dürfte es angemessen seyn, die verschiedenen Dichtigkeiten desselben von 4 zu 4 Graden in folgender Tabelle zusammenzustellen:

t	Dichtigkeit.	t	Dichtigkeit.
0°	1,000000	40	0,988563
$3^1/_5$	1,000118	44	0,986297
4	1,000103	48	0,983867
8	0,999855	52	0,981280
12	0,990182	56	0,978550
16	0,998408	60	0,975685
20	0,997267	64	0,972695
24	0,995802	68	0,969590
28	0,994272	72	0,966379
32	0,992560	76	0,963070
36	0,990654	80	0,959678

141) Auch die festen Körper, und zwar alle ohne Ausnahme, werden durch Wärme ausgedehnt. Allerdings vermindert sich das Volumen mancher Körper durch den Einfluss der Hitze, die Hölzer z. B. schwinden in der Wärme, thierische Substanzen, als Häute, Sehnen u. s. w., schrumpfen zusammen, insbesondere aber irdene Waare und Porzellan schwinden durch das Brennen so sehr, dass man bei der Verfertigung der Gefässe hierauf Rücksicht nehmen und sie bedeutend grösser machen muss, als sie nach dem Brennen seyn sollen; allein alle diese Erscheinungen sind bloss täuschend, sofern die Verminderung des Volumens nicht durch die Wärme unmittelbar, sondern durch anderweitige, durch sie bewirkte Veränderungen erzeugt wird. Thierische Stoffe und Hölzer verlieren Feuchtigkeit aus ihrem Innern, ihre Theile kommen einander näher, und die Verminderung ihres Volumens ist Folge des Verlustes materieller Substanzen. Eben dieses ist zum Theil der Fall beim Brennen irdener Waaren, doch kommt bei diesen noch ein anderer Grund hinzu, nämlich das Zusammensintern, welches zwar kein Schmelzen ist, denn das Porzellan darf nicht geschmolzen seyn, wie Glas, indem es vielmehr sehr hohe Hitzegrade aushalten muss, ohne zu verglasen, sondern nur ein Zusammensintern, nachdem es bloss erweicht, nicht aber geschmol-

zen war. Sind thierische Stoffe und Hölzer vollständig ausgetrocknet, und werden sie dann nach dem Erkalten wieder erwärmt, so dehnen sie sich allerdings aus, zwar nur wenig, und die Hölzer namentlich nach der Quere ihrer Fasern mehr, als nach deren Länge, aber doch immer so viel, dass die Ausdehnung durch feine Vorrichtungen gemessen werden kann. Es ist wohl unnöthig hierbei zu bemerken, dass diese Ausdehnung nicht mit derjenigen zu verwechseln sey, welche durch eindringende Feuchtigkeit erzeugt wird. Die Ausdehnung des Porzellans und irdener Gefässe durch Hitze unterliegt gar keinem Zweifel, denn auf ihr beruhet das Zerspringen derselben, wenn heisses Wasser in grösserer Menge in sie hineingegossen wird (§. 142). Auch ist bekannt, dass Hohöfen und Schmelzöfen sich zusammenziehen, wenn sie erkalten, und sich dann, beim abermaligen Anlassen, wieder ausdehnen.

142) Die festen Körper, namentlich die Metalle, werden durch Wärme ausgedehnt, und zwar eben wie die tropfbaren Flüssigkeiten in der Art, dass die Vergrösserung ihres Volumens durch höhere Temperaturen grösser ist, oder dass durch gleiche Zunahme der Wärme die Vermehrung ihres Volumens in höheren Graden grösser ist, als in niederen. Die Unterschiede sind indess an sich nicht bedeutend, zeigen sich ausserdem meistens erst in sehr hohen Temperaturen, weswegen es unnöthig ist, hier weiter in diese Untersuchung einzugehen. Dagegen möge beiläufig bemerkt werden, dass dieses Verhalten genau mit der Hypothese übereinstimmt, wonach die um die kleinsten Körperelemente aufgehäufte Wärme diese abstösst, indem sie ihrer Anziehung entgegenwirkt; denn sind diese Theilchen schon mehr von einander entfernt, so genügt eine geringere Wärmezunahme, um eine gleich grosse weitere Entfernung zu bewirken. Sehr bemerkenswerth ist die ungeheure Kraft dieser Ausdehnung, die sich meistens gar nicht messen und schätzen lässt. Sind z. B. Gefässe mit Flüssigkeiten so gefüllt, dass nicht zugleich ein Luft enthaltender Raum vorhanden ist, in welchen die ausgedehnten Flüssigkeiten dringen können, so zersprengen sie die Wandungen, weswegen man na-

mentlich unter dem Korke der Weinflaschen eine gewisse Menge Luft lässt, und beim Absperren des Quecksilbers in den Barometerröhren, um den Stoss der Quecksilbersäule gegen diese zu verhüten, für einen Raum sorgt, in welchen das durch Wärme ausgedehnte Metall entweichen kann. Wird ein Glas mit dem dicksten Boden, dessen Zerreissen mehr als 1000 Pfund erfordern würde, auf eine heisse Metallplatte gestellt, so dehnt sich die schnell erhitzte Oberfläche aus, und zerreisst den ganzen Boden. Um dieses zu verhüten, legt man etwas Papier, Leinen, Asche, Kork, Stroh u. s. w., überhaupt einen die Wärme schlecht leitenden Körper darunter, damit die Wärme langsam durch diesen dringt und Zeit hat, sich in der Masse des Glases allmälig auszubreiten. Hieraus wird klar, warum man in Gläsern mit sehr dünnem Boden Flüssigkeiten am sichersten erhitzen kann; denn die dünne Masse wird gleichmässig erwärmt, und der ausgedehnte wärmere Theil zerreisst nicht den noch kalt gebliebenen. Man nennt das Glas spröde, und meint danach, die zum Zerreissen desselben erforderliche Kraft sey nur gering; allein es giebt Beispiele, dass eiserne Oefen, deren Dicke mehr als 1 Zoll betrug, plötzlich mit einem heftigen Knalle zersprangen, und hierbei lässt sich die Grösse der geäusserten Kraft wenigstens ungefähr berechnen. Es ist nicht zu viel, wenn wir annehmen, dass eine Stange guten gesunden Gusseisens von 1 rheinischem Quadratzoll Querschnitt nach Versuchen durch eine Kraft von 56500 Pfund abgerissen wird. Wenn also die Länge des Risses in einer 1 Zoll dicken Eisenplatte 10 Zoll beträgt, so ist eine Kraft von 565000 Pfund erforderlich, um sie zu zerreissen, und diese muss also durch die Ausdehnung in Folge der erhöhten Temperatur erzeugt seyn. Wir dürfen uns hiernach nicht wundern, wenn ein französischer Ingenieur, *Molard*, einst die Wände eines Magazins, die durch die Last der aufgehäuften Baumaterialien aus einander gedrückt waren, wieder zusammenrückte, indem er etliche eiserne Anker durchzog, diese in abwechselnder Folge erhitzte, so dass sie sich ausdehnten dann auswärts verkeilte und erkalten liess, während die anderen erhitzt und dann gleichfalls verkeilt wurden, bis die Wände wie-

der gerade gezogen waren. Hierbei darf nicht unbemerkt bleiben, dass zwar die Kraft der Ausdehnung unmessbar gross ist; sollen aber Stangen bei ihrem Erkalten Lasten heben, so dürfen diese nicht grösser seyn, als bis wohin ihre Cohäsion im Zustande der Erwärmung reicht. Sollte also eine Stange von Gusseisen, deren Tragkraft nach der eben angenommenen Bestimmung 56500 Pfund beträgt, durch ihre Zusammenziehung in Folge der Abkühlung eine Last heben, so müsste diese kleiner seyn, als 56500 Pfund, weil sie im kalten Zustande hierdurch zerrissen werden würde, im warmen aber schon durch eine geringere. Die zusammenziehende Kraft erkaltender Metalle kann also auf keinen Fall so gross seyn, als ihre Cohäsion oder ihre absolute Tragkraft.

143) Es lässt sich denken, dass man diese ausserordentlich grosse Kraft der Ausdehnung durch Wärme zur Bewegung von Maschinen anwenden könnte, allein bisher ist dieses nicht geschehen, weil die Grösse der Ausdehnung zu gering ist, und die Construction solcher Vorrichtungen zu künstlich ausfallen würde. Wollte man z. B. die Ausdehnung und Zusammenziehung einer eisernen Stange zur Bewegung einer Maschine benutzen, so dehnt sich das Schmiedeeisen von 0^0 bis 80^0 um etwa $\frac{12}{10000}$, also durch 20^0 Wärme um $\frac{3}{10000}$ seiner Länge aus. Hätte man hiernach eine eiserne Stange von 1 Quadratzoll Querschnitt, oder, wie man zu sagen pflegt, eine 1 Zoll dicke Eisenstange von 10000 Fuss Länge am einen Ende unverrückbar befestigt, stiege deren Wärme durch die Sonnenstrahlen auf 30^0 und ginge sie bei Nacht auf 10^0 herab, so würde sie sich um 3 Fuss verkürzen, mithin eine Last von 56500 Pfund auf 3 Fuss Höhe zu heben vermögen. Die Kraft ist, wie man sieht, gross genug, allein die Herstellung einer Stange von dieser Länge würde vielen Schwierigkeiten unterliegen. Zuweilen benutzt man die Ausdehnung der Stangen zur Regulirung von Schiebern, die z. B. bei Oefen die Luftzüge bei steigender Hitze mehr verschliessen; höchst wichtig aber ist die Berücksichtigung der Ausdehnung durch Wärme bei den zahlreichen Compensatoren. Diese sind unumgänglich nothwendig bei den eisernen Wasserleitungsröhren, die sonst

beim Erkalten zerreissen würden, ferner bei den Leitungsröhren, die zur Dampfheizung (§. 96) dienen. In beiden Fällen ist die Vorrichtung so, dass ein Ende einer Röhre mittelst einer Umgebung von Hanf oder Flachs in einer anderen Röhre sich wasser- oder dampfdicht verschiebt, so dass es bei der Erwärmung tiefer eindringt, bei der Abkühlung aber sich wieder zurückzieht. Da die Uhrpendel langsamer schwingen, wenn sie durch die Wärme länger werden, so verfertigt man sie aus Stangen von hartem Holze (Birnbaum-, Apfelbaum-Holz), die in Leinöl getränkt und mit Firniss gegen den Einfluss der Feuchtigkeit überzogen sind, weil sich das Holz nach seinen Längenfibern ausnehmend wenig ausdehnt; für sehr genaue astronomische Uhren wählt man aber eigentliche Compensationspendel, bei denen mit Stahlstangen gehörig verbundene Zinkstangen durch ihre mehr als doppelt so starke Ausdehnung, als die des Stahls, die letztere wieder aufheben, oder man bringt statt der Linse ein eisernes Gefäss mit Quecksilber an, welches in Folge noch stärkerer Ausdehnung die eigentliche Länge des Pendels stets unverändert erhält. Bei den Taschenuhren dient die Unruhe vermöge ihrer Schwingungen als Pendel, und man bringt bei ihr kleine Bleche aus zwei verbundenen Metallen an, die sich durch ungleiche Ausdehnung krümmen, und dadurch die kleinen Gewichte an ihren Enden in stets gleicher Entfernung von ihrer Umdrehungsaxe erhalten. Solche Compensatoren haben die Seeuhren, Längenuhren oder Chronometer, für deren Erfindung der Zimmermannsgeselle *Harrison* den Preis von 23000 Pfund Sterling erhielt, weil sie das beste Mittel gewähren, die geographischen Längen auf den Schiffen zu bestimmen. Endlich ist den Künstlern wohl bekannt, dass metallene Ringe auf Handhaben erwärmt aufgepasst werden müssen, wenn sie fest halten sollen, und dass sie erwärmt sich leichter abziehen lassen; auch erwärmt man den Hals eines Glases, wenn der Glasstöpsel zu fest darin sitzt, weil die geringe Ausdehnung schon genügt, um letzteren etwas loser zu machen.

144) Bei festen Körpern misst man meistens ihre Längenausdehnung, indem man namentlich von den Metallen und vom Glase

Stangen verfertigt, diese in einen mit Wasser oder einer sonstigen, höhere Hitze annehmenden, Flüssigkeit gefüllten Kasten legt, an einem Ende unverrückbar befestigt, und mittelst eines fein getheilten, durch ein Mikroskop abgelesenen, Maasstabes misst, um wie viel sein anderes Ende durch Temperaturzunahme weiter vorrückt; der Theil seiner ganzen Länge, um welchen dann sein Ende weiter reicht, heisst seine Längenausdehnung. Hätte man z. B. eine Messingstange von 1 Fuss oder 144 Linien Länge, stände das freie Ende derselben in schmelzendem Schnee bei 0^0 des Maasstabes, und rückte es in siedendem Wasser 1 Linie vor, so betrüge ihre Ausdehnung für die Temperatur von 0^0 bis 80^0 $\frac{1}{144}$, also für 1^0 nur $\frac{1}{80 \times 144}$ oder $\frac{1}{11520}$. Werden von Körpern, deren Längenausdehnung bekannt ist, Bleche verfertigt, so dehnen sich diese nach allen Seiten aus, und wenn dann ihre Grösse, d. h. ihr Quadratinhalt, bei 0^0 als Einheit angenommen, die Grösse ihrer Längenausdehnung aber durch x bezeichnet wird, und die Zahl der Grade, um die ihre Wärme steigt, t genannt werden, so ist ihre Grösse in Folge der Flächenausdehnung gleich $= (1 + tx)^2$, welches gerechnet $1 + 2tx + t^2x^2$ giebt. Da aber x, oder die Grösse der Ausdehnung, stets nur ein kleiner Bruch ist, so lässt man das letzte Glied weg, und erhält die durch Wärme vermehrte Grösse, indem man zu der bei 0^0 noch $2tx$ hinzusetzt. Wäre z. B. bei Messing $x = \frac{1}{11520}$, so erhielte man durch die vollständige Formel für eine Temperatur von 5^0 die Flächenausdehnung eines Bleches $= 1 + 2 \times 5 \times \frac{1}{11520} + 25 \times \frac{1}{11520} = 1 + \frac{10}{11520} + \frac{25}{132710400} = 1 + \frac{1}{1152} + \frac{1}{530841600}$; die abgekürzte Formel aber giebt $1 + \frac{1}{1152}$, weil der fünfmillionste Theil in den meisten Fällen gar nicht messbar ist. Auf gleiche Weise muss die körperliche oder kubische Ausdehnung eines Körpers, dessen Längenausdehnung bekannt und $= x$ ist, wenn abermals die Thermometergrade von 0^0 an durch t bezeichnet werden, $= (1 + tx)^3$ seyn, welches vollständig gerechnet $1 + 3tx + 3t^2x^2 + t^3x^3$ geben würde. Auch hierbei lässt man aus gleichem Grunde

die beiden letzten Glieder weg, und nimmt das durch Wärme vergrösserte Volumen oder die Masse des Körpers $= 1 + 3tx$, die bei $0^0 = 1$ angenommen. Ein massives Stück Messing, ein Würfel, eine Kugel u. s. w., bei $0^0 = 1$ angenommen, würde daher bei 5^0 Wärme die Grösse $1 + 3 \times 5 \times \frac{1}{11520} = 1 + \frac{15}{11520} = 1 + \frac{1}{768}$ gross seyn. In diesen Bestimmungen ist zugleich enthalten, um wie viel der Körper bei erhöhter Temperatur grösser ist, als bei 0^0, denn es betrüge nach der angenommenen Bestimmung die Zunahme der Länge eine Messingstange bei 5^0 Wärme $\frac{5}{11520}$ oder $\frac{1}{2304}$, die Flächenzunahme eines Bleches $\frac{1}{1152}$ und die Vermehrung des Volumens $\frac{1}{768}$, wenn die genannten Grössen dieser drei Körper bei 0^0 als Einheit angenommen werden. Dabei versteht sich von selbst, dass die Flächenvergrösserung eines flachen Ringes nach aussen so gross ist, als die einer Scheibe, und die Volumensvermehrung einer hohlen Kugel so gross, als die einer massiven.

Es folgt wohl von selbst, dass man durch ein umgekehrtes Verfahren aus der kubischen Ausdehnung oder der Vermehrung des ganzen Volumens die quadratische, oder die Flächenausdehnung und die lineare oder die Längenausdehnung finden könne, jene, die quadratische, indem man die kubische durch $\frac{3}{2}$ theilt oder mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt, diese, die lineare, indem man sie durch 3 theilt. Wäre also die Volumensvermehrung einer Messingkugel durch 5^0 Wärme $= \frac{1}{768}$ gefunden, so wäre die Flächenausdehnung eines Messingbleches $= \frac{1}{768} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{2304} = \frac{1}{1152}$, die Längenausdehnung einer Stange desselben Metalls aber $= \frac{1}{768} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{2304}$. Dieses zu wissen ist nicht unwichtig, denn bei vielen Körpern dürfte es schwierig seyn, Stangen zu erhalten, deren Länge genügte, um ihre Ausdehnung auf die angegebene Weise zu messen, weswegen man ihre kubische misst und daraus die Längenausdehnung durch Rechnung bestimmt. Hierzu wird erfordert, den Körper in Wasser oder eine sonstige, ihn nicht verändernde, Flüssigkeit zu legen, das Ganze bis 0^0 oder bei der Anwendung des Wassers, bis zum Puncte dessen grösster Dichtigkeit zu erkalten, dann bis zum Siedepuncte oder bis zu einer geeigneten

höheren Temperatur zu erwärmen und zu messen, wie viel Flüssigkeit hierdurch aus dem Gefässe ausläuft, oder um wie viel dieselbe ausgedehnt wird. Kennt man die Menge der Flüssigkeit und den Rauminhalt des Gefässes, so weiss man, um wie viel die Flüssigkeit, wäre sie allein im Gefässe gewesen, sich hätte ausdehnen müssen, und um was sie sich mehr ausgedehnt hat, kommt auf den untersuchten Körper. Dass hierbei auch die Ausdehnung des zum Versuche angewandten Gefässes mit berücksichtigt werden müsse, versteht sich von selbst.

145) Bei der Ausdehnung fester Körper, namentlich wenn aus ihrer kubischen die lineare gefunden werden soll, wird vorausgesetzt, dass sie nach allen Richtungen gleichmässig stattfinde, was sich auch im Allgemeinen allerdings so verhält; allein verschiedene Krystalle haben, wie durch *Mitscherlich* zuerst wahrgenommen wurde, die merkwürdige Eigenschaft, dass sie sich je nach der Lage ihrer Krystallisationsaxen nach der einen Richtung stärker ausdehnen, als nach der andern, wodurch dann zugleich die Grösse ihrer Winkel sich ändert. Die Sache ist in wissenschaftlicher Hinsicht von grosser Bedeutung, sofern sie uns auf eine eigenthümliche Zusammenfügung der kleinsten Bestandtheile krystallisirter Körper schliessen lässt; wir können uns aber hier eines weiteren Eingehens in diese Untersuchung überheben. Eine beiläufige Erwähnung dagegen verdient das häufig beobachtete Knacken und Knistern eiserner Oefen, der Ofenthüren und Röhren, was als eine Folge theilweiser Ausdehnung und hierdurch verursachten Nachrückens der minder erwärmten Theile betrachtet wird, wohin man auch das selten wahrgenommene Tönen erkaltender Metallmassen, namentlich des Silbers, gerechnet hat. Uebrigens ist es kaum möglich, alle die vielen Erscheinungen der Ausdehnung durch Wärme aufzuzählen. Namentlich gehört dahin das Krummziehen metallener, vorzüglich der aus Zinkplatten verfertigten, Dächer, das Festklemmen erhitzter metallener Ofenthüren, das Sinken der Kettenbrücken durch Wärme, ja selbst steinerne Brückenbögen ziehen sich durch Kälte zusammen, und hohe Thürme verändern den sicheren Stand der astronomischen Instrumente da-

durch, dass sie sich in Folge der auffallenden Sonnenstrahlen biegen. Hiernach ist es wohl der Mühe werth, die Längenausdehnung der für die Anwendung wichtigsten Körper durch 80 Wärmegrade, also vom Gefrierpuncte bis zum Siedepuncte des Wassers, in Millionteln ihrer ganzen Grösse tabellarisch zusammen zu stellen.

Körper.	Ausdehnung.	Körper.	Ausdehnung.
Blei	2848	Platin	882
Bronze	1850	Wismuth	1391
Schmiedeeisen	1224	Spiegelmetall	1933
Gusseisen	1100	Antimon	1083
Stahl	1150	Zinn	2094
Kupfer	1718	Zink	2968
Messing	1812	Glas	885
Gold	1466	Kalkstein	251
Silber	1920	Tannenholz	350

B. Schmelzen.

146) Starre Körper werden durch den Einfluss geringerer oder grösserer Hitze tropfbar flüssig, oder sie schmelzen, tropfbare Füssigkeiten dagegen gehen durch Entziehung der Wärme zur Starrheit über, sie gefrieren. Den Ausdruck: Schmelzen gebrauchen wir bei allen Körpern, um den Uebergang aus dem Zustande der Starrheit in den des Tropfbarflüssigseyns zu bezeichnen, denn wir sagen: das Eis schmilzt, das Wachs schmilzt, das Eisen schmilzt; das Wort: Gefrieren dagegen wenden wir bloss bei Körpern an, die in mittleren Temperaturen flüssig sind, denn wir sagen: das Quecksilber gefriert, vom Wachse, vom Blei und Eisen aber sagen wir, es gesteht; doch sind dem Wesen nach alle diese Erscheinungen einander gleich. Alle Körper lassen sich durch die gehörigen Grade der Hitze schmelzen, denn obgleich es noch nicht gelungen ist, die Kohle flüssig zu machen, so scheint doch die reinste Kohle, der Diamant, vor seiner Krystallisation flüssig gewesen zu seyn. Auf gleiche Weise dürfen wir annehmen, dass alle flüssige Körper gefrieren, denn selbst

beim reinen Alkohol scheint dieses in einer Kälte von mehr als — 80° der Fall zu seyn, und eine solche ist vom absoluten Nullpuncte, wo alle Wärme fehlt, sicher noch weit entfernt. Die meisten Körper aus dem Thier- und Pflanzenreiche, mit Ausnahme des Fettes, werden durch Hitze früher zerstört und in ihre Bestandtheile aufgelöset, als sie schmelzen, z. B. Haare, Nägel, Muskelfleisch, Hölzer, Laub u. s. w., wie denn auch Kohle, Eisen und Platin früher verbrennen, als sie schmelzen.

147) Man sollte glauben, gemischte Körper müssten bei einer zwischen ihren Schmelzpuncten in der Mitte liegenden Temperatur schmelzen, und mindestens könnten sie in keiner niedrigeren Temperatur flüssig werden, als worin der leichtflüssigste schmilzt, und in keiner höheren fest bleiben, als bis zum Schmelzpuncte des strengflüssigsten, allein beides wird durch die Erfahrung nicht bestätigt. Um die zahlreichen hierher gehörigen Erscheinungen übersichtlicher zu machen, lassen sie sich unter folgende allgemeine Sätze bringen. Durch Verminderung der Temperatur werden die aufgelöseten Substanzen aus den Flüssigkeiten geschieden, und die letzteren können dann allmälig fest werden. Dieses findet beim Salzwasser, namentlich dem Seewasser von 1027 specifischem Gewichte, das des Wasser = 1000 gesetzt, statt, aus welchem das Salz schon bei etwa 2 Grad Kälte sich auszuscheiden beginnt, so dass hierdurch die Entstehung des Meereises möglich wird, welches wieder aufgelöset nicht salziges, sondern trinkbares Wasser liefert. Das ausgeschiedene Salz theilt sich dem übrigen Wasser mit. Auf diese Weise und durch das Hinzukommen von Regen und Schnee entstehen die ungeheuern, mehrere Millionen Kubikfuss haltenden, bis 1000 Fuss und darüber in das Wasser herabgehenden, zuweilen auch auf dem Boden aufsitzenden, Eisberge der Polarmeere. Steigt die Kälte bis etwa 25 oder 30 Grade unter 0, und treibt der Wind das Seewasser über das schon gebildete Eis, so gefriert das Wasser, und das ausgeschiedene Salz sammelt sich haufenweise auf dem Eise, was man im sibirischen Eismeere Rossol nennt. Es ist zwar erwähnt worden (§. 128), dass Salz das Eis flüssig macht, allein dieses

hört bei so tiefen Kältegraden auf, tritt aber dann wieder ein, wenn die Sonnenstrahlen das Salz mehr erwärmen. Concentrirte Salzsole, die gegen 27 pC. Salz enthält, gefriert in Gefässen erst unter 20° Kälte, und das entstandene Eis liefert kein süsses Wasser, weil die Sole kein ausgeschiedenes Salz weiter aufnehmen kann; aus schwächerer Sole dagegen in weiteren Gefässen bildet die Kälte Eis, indem das Salz ausgeschieden wird, das Wasser gefriert und stärkere Sole zurückbleibt, worauf die sogenannte Eisgradirung (Erzeugung einer mehrere Grade zeigenden Sole) beruhet. Am Ende des vorigen Jahrhunderts machte ein von *Joseph Barth* aus Nürnberg erfundener, und Wetterbaroskop genannter, interessanter Apparat grosses Aufsehen. Dieser besteht aus einer 6 bis 8 Zoll langen, $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll weiten, an beiden Enden zugeschmolzenen Glasröhre, worin sich mit mehr oder minder Wasser verdünnter Spiritus und darin aufgelöseter Kampher befindet. Geht die Temperatur unter diejenige herab, bei welcher die Lösung noch vollkommen durchsichtig ist, so wird der Kampher in baumartig gruppirten Krystallen ausgeschieden, bei steigender Wärme aber wieder gelöset. Dass man mittelst desselben keine Wetterveränderungen voraussehen könne, wie der Erfinder behauptete, und danach den Namen wählte, versteht sich von selbst. Die Oele und Fette sind nicht einfach, sondern bestehen aus Olein, Stearin u. s. w.; sie lassen sich tief erkalten, bis eine Trennung der Bestandtheile und ein vollständiges Gestehen erfolgt; ist dieses aber eingetreten, so wird eine weit höhere Wärme erfordert, bis sie wieder vollständig zerfliessen. Man kann dieses leicht versuchen, indem man ein Glas damit füllt, ein Thermometer hineinsenkt, und die Temperatur ihres Gestehens und Zerfliessens misst, und es liegt hierin der Grund, weswegen man die Temperaturen ihres Schmelzens, die mit denen des Gestehens zusammenfallen müssten, selten oder gar nicht angegeben findet. Im Allgemeinen schmelzen zusammengesetzte Körper leichter, als einfache, und zwar mit einem sehr bedeutenden Unterschiede, wie sich dieses namentlich bei den metallischen Lagerungen zeigt. Das Schnellloth der Klempner aus 4

Theilen Blei und 6 Theilen Zinn schmilzt bei 135°, das durch *d'Arcet* und *Rose* bekannt gewordene sogenannte leichtflüssige Metallgemisch aus 8 Theilen Wismuth, 8 Theilen Blei und 3 Theilen Zinn schmilzt bei 76° und ist wegen dieser seiner Leichtflüssigkeit, schon unter dem Siedepuncte des Wassers, vielfach brauchbar, namentlich um Abdrücke von Gebilden zu machen, die keine grosse Hitze vertragen. Legt man ein Stück Zinn auf ein Kupferblech, so dringt das erste Metall in das letzte bei der Rothglühhitze ein, und macht es löcherig. Am auffallendsten ist diese Erscheinung beim Platin, welches in stärkster Weissglühhitze unschmelzbar, mit allen Metallen, das Eisen ausgenommen, leicht zusammenschmilzt. Schmiedeeisen ist im stärksten Ofenfeuer unschmelzbar, durch Zusatz von Kohlenstoff erhält man schmelzbaren Stahl und Gusseisen, welches letztere auch durch andere Körper, als Phosphor, Silicium u. s. w., schmelzbar wird. Dahin gehören ferner die verschiedenen Zuschläge, die man bei Hochöfen anwendet, namentlich Flussspath, welcher davon seinen Namen hat, Kalk, Gyps u. s. w.; auch befördert man im Kleinen das Fliessen der Metalle durch einen Zusatz von Glaspulver, beim Löthen mit hartem Lothe (einer Verbindung von Kupfer und Zink) durch Borax, und selbst beim Schnelllothe durch etwas Colophonium. Reiner Kalkspath ist nur im Knallgasgebläse (§. 60), und auch darin schwer schmelzbar, Kreide, oder Kalk mit etwas Kiesel vereint, schmilzt leichter, gewöhnlicher Kalkstein selbst in der Schmiedeesse, eben wie Thonerde mit Kieselerde als Pfeifenthon gemengt, und Kieselerde selbst schmilzt leicht mit Kali, Natron u. s. w. vereint zu Glas. Ganz ohne Ausnahme ist indess diese Regel nicht, denn der Schwefel, an sich leicht schmelzbar, macht die nicht eben strengflüssigen Metalle, als Blei, Zinn, Wismuth u. s. w., wenn er mit ihnen zu Erzen verbunden ist, fast unschmelzbar. Dennoch aber kann man mit einer Schwefelstange ein Loch in ein glühendes Eisenblech durch blosse Berührung bohren.

148) Alle Eigenthümlichkeiten, die beim Gestehen der verschiedenen Flüssigkeiten oder bei ihrem Uebergange in den Zustand der Festigkeit vorkommen, zeigen sich sämmtlich beim

Wasser, und es ist daher am zweckmässigsten, den Process seines Gefrierens genauer zu betrachten, um demnächst anzugeben, in wie weit andere Flüssigkeiten hiermit übereinstimmen, oder davon abweichen. Dass das Wasser bei seinem Erkalten sich vor dem Gefrieren von $3^1/_5$ Grad an erst wieder ausdehnt, ist bereits (§. 140) angegeben. Hat dasselbe dann die Temperatur von 0^0 erreicht, so zeigt sich, wenn es rein ist, eine neue Eigenthümlichkeit, indem es ganz ruhig stehend im höchsten Falle sogar bis 10 Grade unter Null erkalten kann, ohne zu gefrieren, worauf dann aber durch Erschütterung ein Theil desselben in Eis verwandelt wird, und die Temperatur augenblicklich bis 0^0 steigt, was aus dem Freiwerden der latenten Wärme (§. 126) erklärlich ist. Die Erscheinung willkührlich hervorzubringen ist schwer, doch zeigt sie sich zuweilen zur Ueberraschung des Beobachters; ähnlich aber, und noch auffallender ist folgender Versuch. Man fülle ein Medicinglas etwas über halb voll mit einer gesättigten Auflösung von Glaubersalz in siedendem Wasser, lasse die Flüssigkeiten über Kohlen etliche Minuten sieden, verstopfe das Glas, indem man es zugleich von den Kohlen wegnimmt, damit der Dampf es nicht zersprengt, mit einem gut schliessenden Korke, senke den Hals in ein Glas mit warmem Wasser, damit keine Luft eindringt, und lasse es in mittlerer Temperatur erkalten. Die Masse bleibt flüssig, selbst wenn man sie schüttelt, wobei das harte Anschlagen zeigt, dass das Glas luftleer ist. Oeffnet man aber das Glas und schüttelt man etwas, oder berührt man die Oberfläche mit einem kleinen Holzstäbchen, oder mit dem Ende eines Bindfadens, so setzen sich hieran kleine Krystalle, und das Ganze erstarret augenblicklich mit einiger Erhöhung der Temperatur. Ist das Wasser bis ein oder etliche Grade unter 0^0 erkaltet, und berührt man dessen Oberfläche mit einem Stückchen Eis, so schiessen sogleich an die berührende Spitze Eisnadeln an, die von da auslaufend sich oft über die ganze Oberfläche des im Gefässe befindlichen Wassers verbreiten. Ueberhaupt bilden sich zuerst lange, schmale und dünne Eisnadeln, die bei Teichen sich über die Oberfläche ausbreiten, bei Gefässen auch ins Innere herab-

gehen. Die Oberfläche der See wird bei einer Temperatur des Wassers von 3 bis 5 Grad unter 0 zuerst ganz ruhig, dann fast augenblicklich mit solchen Nadeln bedeckt, die aber sehr bald durch die wieder eintretende Bewegung des Wassers zerrissen werden und sich bei steigender Kälte zu Eismassen vereinigen. Die vereinten Eisnadeln bilden Winkel von 60 Graden mit einander; an die vorhandenen setzen sich andere unter gleichen Winkeln, bis zuletzt alles Wasser ins Eis verwandelt ist.

149) Die Ursache hiervon liegt darin, dass das Eis zu den Krystallen, und zwar zum rhomboëdrischen Systeme gehört. Seine Eigenschaft des Krystallisirens zeigt sich vorzüglich in den Blumen gefrorener Fenster und in den Schneeflocken, welche aus dem Dunste in der Luft gebildet werden, wenn der daselbst befindliche durchsichtige Wasserdampf (§. 155) durch Abkühlung, namentlich in Folge des Eindringens kalter Luftmassen, auf ähnliche Weise niedergeschlagen wird, als dieses bei den Fensterscheiben geschieht, wenn man sagt, dass sie schwitzen. Weil der Wasserdampf sich in die höheren, kalten Regionen erhebt und daselbst seine Wärme verliert, so entstehen zuerst verschwindend kleine Bläschen, die aus einem dünnen Wasserhäutchen mit eingeschlossenem Dampfe bestehen, und zu ganzen Massen vereint entweder Nebel, oder in grösseren Höhen Wolken bilden, beide dem Wesen nach nicht verschieden. Diese Bläschen kann man sehen, wenn man bei völliger Dunkelheit ein brennendes Licht aus dem geöffneten Fenster in einen dichten Nebel hält, oder wenn man im Finstern den vom Wasser aufsteigenden Dunst stark beleuchtet. Es ist indess nicht nothwendig, dass der Dampf zuerst in Dunst übergehe, vielmehr können sich die feinsten Dampftheilchen unmittelbar zu Eisnadeln vereinigen, und solche sind daher auch bei völlig heiterem Himmel in den höheren Regionen der Atmosphäre vorhanden, und bilden die Höfe um Sonne und Mond, so wie auch die Nebensonnen und Nebenmonde, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man bei grösster Heiterkeit des Himmels das Sonnenbild im Wasser oder in einem geschwärzten Spiegel (einer auf einer Seite mit schwarzem Firniss überzogenen Spiegelglas-

scheibe) betrachtet. Im hohen Norden fallen diese Eisnadeln bei hellem Himmel als Staubschnee herab, welcher, feinstem Sande gleichend, sich schuhhoch anhäuft und den Reisenden höchst beschwerlich ist. Auch in unseren Gegenden sieht man, wiewohl selten, bei sehr hoher Kälte solche glänzende Flittern im hellesten Sonnenscheine in der Luft schweben. Im Allgemeinen geht der Dampf zuerst in Dunst über, aus diesem, den Wolken, entstehen die Eisnadeln, setzen sich in verschiedenen Formen an einander und bilden die mannichfaltig gestalteten Schneeflocken, deren meistens mehrere vereint sind, und die man am besten betrachten kann, wenn man sie auf dunkle Zeuge fallen lässt. Ohne in dieses weitläufige Gebiet weiter beschreibend einzugehen, wollen wir nur bemerken, dass die Gestalten der Schneeflocken nach den Temperaturen verschieden sind, wobei sie entstehen; im Allgemeinen liefert die grössere Kälte feinere Flocken, und es ist daher kein ganz verwerfliches Verfahren, aus dem ersten fallenden Schnee die Strenge des bevorstehenden Winters zu bestimmen. Man ballet zu diesem Zweck den Schnee schnell zu einer Kugel, hält diese über eine Lichtflamme, und je mehr sie verzehrt wird, ohne Wasser zu geben, desto strenger wird der Winter seyn; denn alsdann sind die Eisnadeln hart gefroren, sie geben eine lockere Kugel, und werden wegen schlechten Leitungsvermögens des Eises schneller verdampft, als sie zu herabfliessendem tropfbarem Wasser schmelzen. Wenn im Frühlinge, selbst bis in den Mai hinein, der Erdboden und die Luft noch kalt sind, die kräftigen Sonnenstrahlen aber beide theilweise stark erwärmen; wie sich dieses durch die schnellen Temperaturwechsel, sobald Wolken vor die Sonne treten, kund giebt, so findet die Bildung der Eisnadeln schon in geringen Höhen und in Wolken statt, die viel Wasserdampf enthalten, die Eisnadeln vereinigen sich zu Kügelchen, und es fallen Graupeln aus niederen Wolken, wie denn auf hohen Bergen, namentlich auch in der heissen Zone, bloss Graupelschauer stattfinden. Wenn dagegen in heissen Sommertagen die vom stark erwärmten Erdboden aufsteigenden, viel Wasserdampf enthaltenden, Luftmassen in grosse Höhen gelangen, dort

Graupelkörner gebildet werden, diese herabfallen und die oberen kalten Luftmassen nach sich ziehen, so nehmen sie den Wasserdampf der tieferen Luftschichten auf, werden dadurch mit einer Eisrinde überzogen, und kommen als Hagelkörner zur Erde.

150) Das Wasser enthält stets eine nicht unbeträchtliche Menge Luft, die aus demselben frei wird, wenn man es unter die Glocke einer Luftpumpe stellt und exantlirt. Auch beim Gefrieren trennt sich diese Luft vom Wasser, entweicht zum Theil, bleibt aber zum Theil zwischen den Eiskrystallen hängen, wodurch dann ein mehr oder weniger mit Luftbläschen erfülltes Eis entsteht. Einige haben geglaubt, die Ausdehnung des Eises, welches einen grösseren Raum einnimmt, als das Wasser bei 0^0, woraus es entsteht, sey Folge dieser frei werdenden Luft; allein theils ist die Gewalt, womit sich das Eis ausdehnt, grösser, als dass sie hieraus abgeleitet werden könnte, theils dehnt sich auch ganz blasenfreies Eis aus. Füllt man ein Medicinglas zur Hälfte mit Wasser, lässt man dieses anhaltend etwa 15 bis 20 Minuten sieden, verkorkt es dann schnell, und setzt es der Kälte aus, so erhält man leicht die Erscheinung, dass das Wasser etliche Grade unter 0 erkaltet, und beim Schütteln mit einer Menge Eisnadeln erfüllt wird. Auf allen Fall bilden sich anfangs diese Eisnadeln, der Rest des Wassers gefriert zwischen diesen, man erhält sehr klares Eis, aber das Glas zerspringt durch dessen Ausdehnung. Wenn einige Physiker aus gekochtem Wasser bei grosser Kälte blasiges Eis erhalten haben, so war das Wasser entweder nicht ganz luftfrei, oder es bildeten sich beim schnellen Gefrieren Dampfbläschen, die im Eise zurückblieben. Die Gewalt des sich ausdehnenden Eises ist ungeheuer und für sehr hohe Kältegrade noch gar nicht gemessen; es zersprengt nicht bloss gewöhnliche gläserne und metallene Gefässe, sondern zerspaltet auch die stärksten Bäume durch die sogenannten, in nördlichern Gegenden gewöhnlichern, Frostborsten, hebt die Schwellen der Thüren, die Fundamente der Häuser und die grössten Felsen, und zerreisst die dicksten, mit Hämmern nicht zu zerschlagenden Bomben, wie im Odenwalde und zu Warschau bei — 17^0 angestellte Versuche gezeigt haben. Dass daher das

in den Gletscherspalten entstehende Eis die Gletschermassen ausdehnen und in Bewegung setzen könne, unterliegt hiernach keinem Zweifel, wie es denn auch sicher das Zerspalten der Felsen bewirkt. Durch die Ausdehnung muss das Eis specifisch leichter werden, als das Wasser, und zwar um so mehr, je grössere und zahlreichere Blasen in ihm eingeschlossen sind. Im Mittel lässt sich annehmen, dass das Eis $\frac{1}{10}$ leichter sey, als das Wasser, wenigstens gilt dieses vom Meereise, und es werden daher 9 Theile sich unter der Wasserfläche befinden, wenn 1 Theil über dieselbe hervorragt, wonach sich die Grösse der Eisberge bemessen lässt. Das helle Eis der Flüsse ist etwas, doch nicht viel, specifisch schwerer. Das minder blasige Eis ist zugleich auch fester, und man hat seine Festigkeit $\frac{1}{10}$ der des Marmors gefunden, weswegen das auf Wasser ruhende Eis von 1 Zoll Dicke schon einen Mann trägt, das 11 Zoll dicke auf der Themse Frachtwagen trug, und man zu Petersburg und Landshut Kanonen aus Eis verfertigen konnte, aus denen eiserne Kugeln geschossen wurden.

151) Das Eis verdunstet in trockner Luft bei jeder, auch der tiefsten, Temperatur, und zwar so, dass sich der Wärmestoff mit den Eistheilchen verbindet, sie auflöset und als Wasserdampf fortführt. In kalten Wintern verschwindet, hauptsächlich bei anhaltendem heiterem Wetter, eine grosse Menge Eis und Schnee, und die entstehende Wassermasse ist daher ungleich geringer, als wenn frisch gefallener Schnee sofort aufthauet. Wenn man von aufgehangener nasser Wäsche sagt, sie friere aus, so heisst dieses nichts anderes, als dass das Wasser in Eis verwandelt werde, und dieses verdunste; doch nimmt eben dieselbe, wenn sie in hoher Kälte auch völlig trocken zu seyn scheint, in warme Luft gebracht, Feuchtigkeit wieder auf, und erscheint danach minder trocken. Dass man auch anatomische Präparate durch anhaltendes Gefrorenseyn in trockener Luft austrocknen könne, ergiebt sich hieraus von selbst. Das Aufthauen des Eises erfolgt wegen des Latentwerdens der Wärme (§. 126) allmälig, und es bleiben zuletzt noch einzelne Eisnadeln, wie sie beim Gefrieren gebildet wurden, jedoch minder lange.

152) Eine merkwürdige, noch immer nicht befriedigend erklärte, Erscheinung ist das Entstehen des Grundeises. Ehe die Flüsse eine feste Eisdecke erhalten, zeigt sich in ihnen eine grosse Menge schwimmender Eisnadeln, theils einzeln, theils zu kleineren oder grösseren Massen eines lockeren schwammigen Eises vereint, zuweilen mit etwas Erde beschmutzt und mit eingefrorenen Pflanzentheilen versehen. Eben solche sieht man auch in den Löchern, welche von den Fischern in das Eis der Flüsse gehauen werden, in grosser Menge schwimmen, und nach dem Volksglauben soll dieses Eis durch den erkaltenden Einfluss des Mondes auf dem Boden der Flüsse erzeugt, durch die Sonne aber emporgehoben werden, woher es denn seinen Namen erhielt. *Nollet* stellte aus theoretischen Gründen diese Thatsache in Abrede, weil sich das Wasser an der Oberfläche abkühle, das bis 0^0 erkaltete aber als specifisch leichter nicht herabsinke, mithin am Boden kein Eis entstehen könne, die erdigen und vegetabilischen Theile dagegen vom Ufer abgerissen seyn müssten. Inzwischen ist die Entstehung des Grundeises auf dem rauhen, insbesondere mit Steinen bedeckten, Boden der Flüsse und Canäle oft in beträchtlichen Massen durch die zahlreichsten Beobachtungen völlig erwiesen; auch hat man gesehen, dass dasselbe durch sein geringeres specifisches Gewicht aufsteigt und im Wasser fortgetrieben wird. Dahin gehören dann auch die Erfahrungen, dass versunkene Anker, Ketten, Taue u. s. w., in Flüssen und selbst in der See durch bis Mannesdicke um sie gelagerte Eismassen gehoben, bei strenger Kälte auf die Oberfläche emporkommen. Inzwischen entsteht das Grundeis nur in bewegtem, nie in ruhig stehendem Wasser; ein Umstand, welcher für die Erklärung einen wichtigen Anhaltpunct giebt. Man hat ausserdem Körbe und Kasten mit Steinen, Flaschen, Metallen, Holzstücken, Bürsten u. s. w. bei einer Kälte von -8^0 bis -15^0 mehrere Fuss tief in fliessendes Wasser herabgelassen, und nach einer Nacht oder nach mehreren Tagen wieder heraufgezogen, und obgleich die Eisnadeln nicht von aussen eingedrungen seyn konnten, dennoch die darin befindlichen Körper, namentlich die rauhen und mit Spitzen ver-

sehenen, mit Eisnadeln dick überzogen gefunden, die also nothwendig unter dem Wasser gebildet seyn mussten. Da dieses während völlig heiteren Wetters geschah, so fällt damit die Hypothese derjenigen weg, welche meinen, das Grundeis entstehe aus Schneeflocken oder Eisnadeln, die von aussen ins Wasser gefallen durch die Bewegung in die Tiefe hinabgeführt würden. Weit mehr hat die Hypothese für sich, wonach die Eisnadeln auf der Oberfläche des bewegten Wassers gebildet werden, denn beim Gefrieren der Flüsse schiessen solche, bis zu bedeutend grossen Flächen zunehmende, Eisnadeln am Ufer auf dem ruhigen Wasser an, andere aber entstehen auf der bewegten Fläche, werden fortgetrieben, von Steinen oder sonstigen Hindernissen oder auch in Folge langsamerer Strömung zusammengeschoben, aufgehäuft und zu einer festen Decke vereint. Solche zahllose feine Eisnadeln werden dann durch das bewegte Wasser in die Tiefe fortgerissen, und setzen sich an die Hervorragungen der Körper an, auf glatten Flächen überall kaum, vorzugsweise dagegen auf rauhen, namentlich an den Haaren der Bürsten und den Reisern der Besen. Hier erhebt sich aber die eigentliche Schwierigkeit in der Frage, wie die Nadeln an diesen Gegenständen festfrieren können, da das bewegte Wasser nicht unter 0^0 erkalten kann, ohne zu gefrieren, den Messungen nach nie unter diese Temperatur herabsinkt, und also die von ihm berührten Körper gleichfalls nicht kälter werden können. Man hat die Hypothese aufgestellt, die Eisnadeln würden sofort nach ihrem Entstehen durch die über die Wasserfläche hinstreichende Luft bis unter den Gefrierpunct erkaltet, sänken in diesem kälteren Zustande in die Tiefe, entzögen den berührten Körpern etwas Wärme, und frören hiernach an ihnen fest; allein dabei bleibt unbegreiflich, warum die Eisnadeln bei ihrer Bewegung durch Wasser von mehreren Fuss Tiefe diesem die Wärme nicht entziehen, und dadurch an Grösse zunehmen sollten. Diese Schwierigkeit ist bis jetzt nicht beseitigt und das Phänomen also nicht befriedigend erklärt. Beachtenswerth ist auf allen Fall der Umstand, dass nach Sonnenuntergang die rauhen Körper auf der Erdoberfläche tief erkalten, und der Thau sich daher an diese,

namentlich die Gräser, anlegt (§. 86), und da die Eisnadeln auf ganz gleiche Weise an den Haaren, z. B. einer Bürste, festfrieren, so dürften wohl beide Erscheinungen aus den nämlichen Ursachen abzuleiten seyn.

153) Unter den übrigen Flüssigkeiten wurden hinsichtlich des Gefrierens vorzugsweise das Quecksilber und der Alkohol beachtet, weil sie zum Füllen der Thermometer dienen. Von beiden glaubte man, sie könnten nicht fest werden, da sie der Kälte von 1709 widerstanden hatten, die *Fahrenheit* für die grösstmöglichste, durch das Verschwinden aller Wärme erzeugte, ansah. Es machte daher grosses Aufsehen, als der in Sibirien reisende *Gmelin* i. J. 1734 zu Jeniseisk das Quecksilber in seinem Thermometer gefrieren sah, und da sich dieses Metall beim Gestehen sehr stark zusammenzieht, so setzte man seinen Gefrierpunct sehr tief herab, bis man dasselbe häufig in kaltmachenden Mischungen oder durch natürliche Kälte in Sibirien und der Hudsonsbai gefrieren liess, dabei ein weiches, bleigraues, dumpf klingendes Metall erhielt, und dessen Schmelzpunct bei — 32^0 setzte. Reiner Alkohol widersteht noch einer Kälte, die man ziemlich genau auf — 80^0 bestimmt hat; da er sich aber etliche Grade über dieser Temperatur auszudehnen beginnt, wie das Wasser, so setzt man seinen Gefrierpunct auf etwa — 81^0 oder — 82^0. Das Verhalten der übrigen Flüssigkeiten einzeln anzugeben gewährt nicht genügendes Interesse; besser ist es, die Gefrierpuncte derselben, so weit sie mehr oder minder genau gefunden sind, in einer Tabelle zusammenzustellen. So wie über die Bestimmungen der in höchster Kälte gefrierenden Flüssigkeiten noch einige Ungewissheit herrscht, ist dieses auch der Fall hinsichtlich der Körper, die nur in grösster Hitze schmelzen, und die Bestimmungen in der Tabelle können daher nur als ungefähr genau gelten. Ueber diejenigen Körper, welche in Temperaturen über 0^0 noch fest bleiben, möge noch bemerkt werden, dass einige derselben, z. B. vorzüglich das Wismuth, weniger das Eisen, sich beim Gestehen, eben wie das Eis, ausdehnen, was als eine Folge des krystallinischen Gefüges zu betrachten ist, insofern die zu Krystallen

neben einander gelagerten Theilchen einen grösseren Raum einnehmen, als im tropfbar flüssigen Zustande.

154) Endlich muss noch einer Eigenthümlichkeit erwähnt werden, die mit der aufgestellten Theorie über die Wirkungsart der Wärme im Widerspruche zu seyn scheint. Wir haben nämlich angenommen, dass hinzukommende Wärme die kleinsten Theile der Körper weiter von einander entfernt, die Körper dadurch ausdehnt, flüssig macht und endlich in Dampf verwandelt. Es zeigt sich dieses so allgemein, dass eben hierdurch die Hypothese für begründet gelten kann, dennoch aber giebt es einige, namentlich sauerkleesaure Kalksalze, deren Auflösungen im warmen Wasser hell sind, in siedendem aber dickflüssig werden. Dieses lässt sich füglich mit der Theorie vereinigen; denn es finden sich Kalk, Säure und Wasser vereint, und die höhere Wärme kann daher weniger in Wasser auflösliche Verbindungen der Bestandtheile erzeugen, während die in niedrigerer Temperatur vorhandenen leichter löslich sind. Schwerer zu erklären ist das Verhalten des Schwefels, weil dieser ein einfacher Körper ist. Füllt man ihn in eine unten verschlossene, etwa 3 Linien weite, 8 bis 10 Zoll lange Glasröhre, und bringt man diese über glühende Kohlen, so wird er bei 88° flüssig, von 128° an dickflüssig, bei 160° so sehr, dass man die Röhre umdrehen kann, bei 253° beginnt er zu sieden und verflüchtigt sich. Für dieses durchaus regelwidrige Verhalten weiss man keinen andern Grund anzuführen, als dass der Schwefel in verschiedenen Temperaturen ganz ungleiche Krystallformen annimmt, und in diesen daher auch ungleiche Zusammenlagerungen seiner kleinsten Theile stattfinden, was dann wieder mit seinem Verhalten gegen das Licht zusammenhängt, sofern er erst hellgelb ist, bei zunehmender Verdickung aber durch Bräunlichgelb in's Braune übergeht.

Die folgende Tabelle enthält die Schmelzpuncte der bekanntesten Körper, soweit man sie mehr oder minder genau bestimmt hat.

Kalkspath	1440°	Quarz	1360°
Thonerde	1360	Platin	1360

Eisen	1280°	Unschlitt	32°
Stahl	1040 bis 1120	Schweineschmalz	28
		Butter	25
Gold	960	Gänsefett	20
Gusseisen	880	Terpenthinöl	22
Kupfer	840	Essig	— 2 bis —24
Silber	800		
Antimon	400	Blausäure	12
Zink	298	Salzsäure	32
Blei	248	Quecksilber	32
Wismuth	212	Salpetersäure	38
Zinn	179	Schwefelkohlenstoff	42?
Kampher	140	Schwefeläther	80?
Wachs	49	Alkohol	82?
Phosphor	32		

Die Schwefelsäure gefriert nach den Graden ihrer Verdünnung in so ungleichen Temperaturen, dass man darüber nichts bestimmen kann.

C. Dampfbildung.

155) Die Wärme verbindet sich mit den meisten Flüssigkeiten zu einer Art von Körpern, welche, wie die Luftarten, das Bestreben haben, sich stets mehr auszudehnen, und daher durch Wandungen oder durch den Gegendruck der sie umgebenden Luft zusammengehalten werden müssen. Man nennt sie meistens Dämpfe, aber auch Gase, weil sie sich von den Gasen, die durch Druck und Kälte noch nicht tropfbar flüssig gemacht worden sind, als Sauerstoffgas, Stickgas und Wasserstoffgas, und von denen, die durch jene Mittel bereits tropfbar flüssig dargestellt sind, z. B. kohlensaurem Gase u. s. w., nicht wesentlich unterscheiden. Auch feste Körper, z. B. Metalle, werden durch grosse Hitze in Dampf verwandelt, aber erst nachdem sie flüssig gemacht worden sind, und wenn trockne Körper durch die Wärme in feiner Pulverform fortgerissen werden und sich an kalte Körper anlegen, so nennt man die erhaltenen Producte Sublimate. Um uns auf die ein-

fachsten Thatsachen und deren Gesetze zu beschränken, diese aber desto genauer festzuhalten, wollen wir die ausdehnsamen, luftartigen Verbindungen der tropfbaren Flüssigkeiten mit Wärme, gleichsam die Auflösungen derselben im Wärmestoff, mit dem Ausdrucke „Dampf" bezeichnen.

156) Die Bildung des Dampfes aus Flüssigkeiten findet sowohl in niedrigeren, als auch in höheren Temperaturen statt, und wird im erstern Falle meistens Verdunstung genannt; die erzeugten Producte sind dem Wesen nach einander gleich, bei welcher Temperatur sie erzeugt seyn mögen; doch kann man zwischen Dampf und Dunst unterscheiden, und durch den letzteren Ausdruck die minder durchsichtigen, nebelartigen Substanzen bezeichnen, welche entstehen, wenn die Flüssigkeiten nicht vollständig aufgelöset, sondern als kleine und feuchte Bläschen vorhanden sind. Unter die verdunstenden Körper gehört auch das Quecksilber, jedoch werden aus demselben erst in Temperaturen über 0^0 Dämpfe gebildet, am leichtesten im luftleeren Raume, weswegen sich im Raume über dem Quecksilber in etwas weiten Barometern kleine Quecksilberkügelchen ansetzen. Auch der Kampher verdunstet, wahrscheinlich dadurch, dass kleine Theilchen desselben durch Wasserdampf aufgenommen und fortgeführt werden, wie dieser überhaupt die Verflüchtigung verschiedener Substanzen befördert; weswegen manche Blumen erst am Abend stärker oder überhaupt duften, wenn sie durch den Thau feucht geworden sind. Phosphor geht durch Aufnahme des Sauerstoffgases der Luft in Dampf über, welcher im Dunkeln leuchtet; die Verflüchtigung des Moschus ist bekannt; feste Kohlensäure wird durch Aufnahme von Wärme in kohlensaures Gas verwandelt (§. 131) u. s. w. Die sämtlichen verdampfbaren Flüssigkeiten einzeln aufzuzählen ist nöthig, doch verdient bemerkt zu werden, dass die deswegen genannten flüchtigen Oele, als Nelkenöl, Bergamotöl u. s. w., allerdings verdunsten, die fetten aber an sich nicht, indem sie sich vielmehr verdicken und trocken werden, weswegen auch die ersteren aus Zeugen, die damit benetzt sind, sich eben wie das Wasser durch Verdunstung entfernen, die letzteren aber bleiben,

wenn sie nicht durch die ersteren oder durch Seife aufgelöset und weggewaschen werden.

157) Die gesammten Erscheinungen und Gesetze der Verdunstung und Dampfbildung lassen sich am besten am Wasser nachweisen, dessen Dämpfe in der Oekonomie der Natur und für die Gewerbe der Menschen bei weitem am wichtigsten sind; und man kann dabei bequem die Abweichungen anderer Flüssigkeiten gelegentlich bemerken. Der Wärmestoff verbindet sich begierig mit dem Wasser, und verwandelt es in Dampf, weswegen auch das Eis selbst bei den tiefsten Temperaturen verdampft (§. 151), ja als *Wistar* Eis von 0^0 Wärme in ein Zimmer von -14^0 brachte, verbreitete sich um dasselbe ein sichtbarer Nebel. Eine ähnliche Erscheinung zeigt hauptsächlich das in Flüssen bewegte Wasser, indem über demselben am Abend, wenn es wärmer ist, als die Luft, Nebel entsteht, weil sich der aufsteigende Wasserdampf in Dunst verwandelt, welcher namentlich auch in sehr hoher Kälte über bewegten Flüssen sich zeigt. Die Verdunstung, auf welcher zugleich die Trockniss im Sommer beruhet, ist so viel stärker, je höher die Temperatur steigt, je schneller die durch den Wind bewegte, namentlich die trockne, Luft wechselt, und eine je grössere Oberfläche das Wasser oder feuchte Gegenstände darbieten; sie muss dagegen abnehmen, wenn diese Bedingungen fehlen und die Gegenstände bereits zu trocken geworden sind. Weil der auf der Oberfläche der Erde, vorzüglich auf dem mit Wasser bedeckten Theile derselben, gebildete Wasserdampf aufsteigt, sich zu Wolken vereint, und aus diesen als Regen, Schnee und Hagel, Thau, Nebel u. s. w. wieder herabfällt, woraus dann wieder zum bei weitem grössten Theile die Quellen und Flüsse enstehen, so war man bemühet, die Menge des verdunsteten Wassers aufzufinden. Hierzu bedient man sich der Verdunstungsmesser (Atmidometer, Atmometer), willkührlich gestalteter und mit Wasser gefüllter Gefässe, die man an geeigneten Orten, gegen hineinfallendes Regenwasser geschützt, hinstellt, um zu messen, wie hoch die Wasserschicht ist, die aus ihnen durch Verdunstung entweicht. Bei diesen Apparaten wirken die Wärme und die Son-

lenstrahlen auch auf ihre Seitenwandungen, und sie weichen also von denjenigen Bedingungen ab, die bei der Verdunstung stehender und fliessender Wasser stattfinden, weswegen man versucht hat, sie im Wasser schwimmen zu lassen. Indess ist dieses beschwerlich, die Gefässe lassen sich kaum gegen hineinfallenden Regen schützen, und immerhin lässt sich der Einfluss des hervorragenden Randes nicht ganz beseitigen. Ein Haupttheil der Aufgabe, und wohl der interessanteste, nämlich die Stärke der Verdunstung der unbebaueten oder mit Pflanzen bedeckten Erdoberfläche zu messen, kann durch Anwendung der Apparate dieser Art nicht gelöset werden, ist aber zugleich so schwierig, dass die Physiker sich noch nicht ernstlich damit beschäftigt haben. Aus zahlreichen, auf sehr verschiedene Weise angestellten, Versuchen geht so viel mit grosser Wahrscheinlichkeit hervor, dass die Verdunstung, die namentlich bei den Pflanzen aus den Blättern, Blumen und feinen Stengeln ausnehmend gross ist, so viel beträgt, als die Menge des aufgenommenen Wassers, wodurch das Gleichgewicht wieder hergestellt wird, und man darf also nur die Menge des aus der Atmosphäre abgegebenen Wassers messen, was auf allen Fall leichter ist, um die Stärke der Verdunstung zu wissen. Dass auch Menschen und Thiere eine Menge Wasser als Dampf ausdünsten, wie denn namentlich der Athem dessen eine bedeutende Menge enthält (§. 80), möge als allgemein bekannt nur kurz erwähnt werden.

158) Aus allen verdampfbaren Flüssigkeiten entsteht Dampf in grösserer Menge und von grösserer Dichtigkeit, d. h. mehr Flüssigkeit in einem gleichen Raume enthaltend, sobald die Wärme steigt, zugleich aber wächst dessen Elasticität oder Spannkraft bedeutend, bis sie so stark wird, als die der über der Flüssigkeit ruhenden Luft. Man nimmt an, dass die atmosphärische Luft im Spiegel des Meeres, also ohne Einfluss der ihre Dichtigkeit vermindernden Höhe, eine Elasticität besitze, vermöge welcher sie einer Quecksilbersäule von 28 pariser Zoll (oder genauer von 28 Zoll $\frac{905}{1000}$ Linien) bei 0^0 Wärme (§. 137) das Gleichgewicht halte, und nennt den durch sie ausgeübten Druck den

Druck einer Atmosphäre, welcher ungefähr 15 Pfund gegen 1 pariser Duodecimal-Quadratzoll beträgt. Wenn nun der Dampf irgend einer Flüssigkeit eine gleich starke Spannkraft erhält, als die über ihr ruhende Luft, so beginnt sie zu sieden, und man nennt die bei unverändertem Luftdrucke stets gleichbleibende Temperatur derselben den Siedepunct (§. 5), welcher beim Wasser bei 80° eintritt. Die Erscheinung des Siedens ist zwar allgemein bekannt, allein nur wenige dürften das eigentliche Wesen dieses Verhaltens kennen. Steht ein Gefäss mit Wasser über Feuer, so dringt die Wärme durch den Boden, und verwandelt die an ihm liegenden Theilchen in Dampf; die so gebildeten Dampfbläschen geben ihre Wärme an die zunächstliegenden Wassertheilchen ab, letztere nehmen deren Stelle mit einer Art Stoss ein, und durch die schnelle Folge dieser Stösse entsteht das eigenthümliche Geräusch, das sogenannte Simmern, metallener Gefässe. Wird siedend heisser Dampf durch ein Rohr aus einem Gefässe in ein anderes, mit Wasser gefülltes, geleitet, so sind diese Stösse zuweilen so heftig, dass sie Hammerschlägen gleichen und die Gemächer zum Beben bringen; auch nimmt man sie leicht wahr, wenn man Salzlösungen oder concentrirte Säuren in Medicingläsern erhitzt. Ausser den über dem Boden erhitzten Wassertheilchen steigen auch die stets neu gebildeten Dampfblasen auf, und geben ihre Wärme ab, bis die ganze Masse des Wassers so warm ist, dass sie den Dampfbläschen keine Wärme mehr entzieht. Dann ist zugleich die Elasticität des Dampfes so stark, als die der Luft; der Dampf steigt unverändert in der Flüssigkeit und diese durchbrechend in die Höhe, verdrängt die über ihr ruhende, schon eine Menge Wasserdampf enthaltende, Luft, treibt sie aus der Stelle, und entweicht frei, weswegen man Gefässe durch siedendes Wasser oder sonstige Flüssigkeiten luftleer machen kann (§. 148). Der so gebildete und stets durch neu hinzuströmende Wärme entstehende Dampf ist durchsichtig, so dass man ihn von der Luft nicht unterscheiden kann; auch darf man ihn, so lange er die ihm und dem zu seiner Bildung dienenden Wasser eigene Siedehitze beibehält, trocken nennen,

denn er macht ihm entgegengehaltene, gleich heisse Körper nicht nass, löscht eine Kohle, gegen die er bläst, nicht aus, und lässt sich zur Blaselampe verwenden (§. 60). Verbreitet sich derselbe aber in der kälteren Luft, so entzieht diese ihm sofort einen Theil Wärme, es entstehen kleine, nicht völlig durchsichtige Bläschen, die jedoch, indem sie sich ausbreiten, wieder Wärme aus der Umgebung aufnehmen, und in minder heissen, aber doch völlig durchsichtigen, Dampf verwandelt werden. Man gewahrt diese Erscheinung bei gewöhnlichen Theekesseln, im Grossen über Brau- und Siedehäusern, am auffallendsten beim Entweichen des Dampfes aus den Dampfkesseln der Schiffe und Locomotiven, und kann daraus die wichtigen Folgerungen entnehmen, zuerst: dass eigentlicher, völlig durchsichtiger, Dampf bei allen Temperaturen besteht, und zweitens: dass das Wasser, namentlich das in Gestalt kleiner Nebelbläschen stark ausgebreitete, den Wärmestoff sehr begierig aufnimmt. Hieraus werden dann einige bekannte Erscheinungen leicht erklärbar. Der in der ausgeathmeten Luft enthaltene Wasserdampf wird in kalter Luft sichtbar und benetzt kalte Flächen, daher das Anhauchen; vom Wasser steigt in der Kälte Nebel auf, verschwindet aber, wenn er auch noch so dick ist, oft schnell; dicht über dem Wasser zeigt das Thermometer eine geringere Wärme, als im Wasser und etwas höher über demselben, weil die oberste Schicht die Wärme zur Dampfbildung an sich zieht, und wenn aus einem zerspringenden Dampfkessel oder einem Papin'schen Digestor (§. 164) mehr als siedend heisse Wassertropfen in die Höhe geschleudert werden, dann aber herabfallen, so zeigen sie sich wider Erwarten kalt, eben wie die Tropfen, die aus dem dicken Dampfe bei'm Oeffnen der Ventile der Dampfkessel aus nicht zu geringen Höhen wieder herabfallen. Im Allgemeinen lassen sich alle Erscheinungen des Erkaltens durch Verdampfung hier anreihen (§. 129).

159) Eine kurze Erwähnung verdienen folgende Erscheinungen. Die Hitze des siedenden Wassers ist in Gefässen von ungleichen Substanzen, z. B. Glas, Metall, Thon u. s. w., um eine geringe Kleinigkeit verschieden, vermuthlich wegen des stärkeren

Anhängens der Dampfbläschen und Wassertheilchen an den Wandungen; der geringe Unterschied ist nur in sofern bedeutend, als man deswegen vorzieht, den Siedepunct der Thermometer im Dampfe und nicht im Wasser zu bestimmen (§. 5). Einzelne kleine, im Wasser schwimmende, metallische oder sonstige Körperchen erleichtern das Sieden, weil sie das Aufsteigen der Dampfbläschen befördern; alle Lösungen von Salzen und Alkalien, so wie stark verunreinigtes Wasser, erfordern eine grössere Hitze zum Sieden, als reines Wasser, weil die Dampfbläschen darin stärker zurückgehalten werden; der aus ihnen entstandene, reine Wasserdampf aber kann keine grössere Hitze und Elasticität haben, als der vom reinen Wasser, weil beide sich unter gleichem Luftdrucke befinden. Gemischte Flüssigkeiten von ungleichen Siedepuncten, z. B. der aus Wasser und Alkohol bestehende Branntwein, sieden bei einer zwischen beiden ungefähr die Mitte haltenden Temperatur, und ihre Dämpfe haben die dieser zugehörige Elasticität und Hitze. Befindet sich Wasser in irgend einem Gefässe mit flachem Boden ohne Füsse im heftigen Sieden, nimmt man es vom Feuer und berührt man den Boden sofort mit der Hand, so zeigt er eine geringere Hitze, als die des Siedens, nimmt diese aber sehr bald wieder an. Diese auffallende Erscheinung war lange bekannt, wurde aber neuerdings wieder hervorgehoben, und daraus erklärt, dass die vom Feuer ausgehende Wärme durch den Boden ströme, um auf der inneren Fläche Dampf zu bilden. Wird dann die Wärmequelle schnell entfernt, so dauert die Strömung fort, der Boden des Gefässes wird kälter, bis die vom Wasser rückkehrende Wärme ihn wieder erhitzt. Eine ähnliche Erscheinung wird weiter unten (§. 162) erwähnt werden; beide haben Aehnlichkeit mit zwei anderen, die aber noch weiterer Versuche zur Bestätigung bedürfen. Wenn zwei gleiche Gefässe, das eine mit heissem, das andere mit kaltem Wasser, bei etwas strenger Kälte unter gleichen Bedingungen in's Freie gestellt werden, so soll das heisse Wasser früher als das kalte gefrieren, obgleich das Gegentheil stattfinden müsste, da das heisse einer gewissen Zeit bedarf, um bis zur anfänglichen

Temperatur des kalten herabzugehen. *Hügi* senkte mit heissem und kaltem Wasser gefüllte Krüge in fliessendes Wasser hinab, und fand bei'm Herausziehen die ersteren mit zolldickem Grundeise (§. 152) überzogen, die letzteren frei; auch setzte sich das Grundeis an heissen, in Zeug gewickelten Kugeln an, fehlte dagegen bei den kalten. Auch hierbei müsste man also, vorausgesetzt, dass die Thatsachen richtig sind, eine Fortdauer der einmal eingeleiteten Wärmeströmung annehmen.

160) Trifft der durch den Boden oder die Wandungen dringende Wärmestoff auf der inneren Seite Wasser, so verwandelt er dasselbe in Dampf, und da dieses bei der Siedehitze geschieht, der Dampf aber alle übrige Wärme latent macht (§. 123), so kann die Hitze des Wassers nicht merklich höher, als bis zu diesem Puncte steigen. Liegen daher die Schmelzpuncte der Metalle der Kochgeschirre und des Lothes, womit sie gelöthet sind, mindestens einige Grade höher, als der Siedepunct des Wassers, so werden sie auch auf dem stärksten Feuer nicht schmelzen, so lange darin befindliches Wasser die übrige Wärme latent und eine zu starke Hitze unmöglich macht. Ruhen dagegen auf dem Boden andere Körper, z. B. Reis, Mehl, Hülsenfrüchte, käsige Theile der Milch u. s. w., so entweicht aus ihnen das Wasser als Dampf, sie selbst werden trockener und in diesem Zustande verkohlt; daher das Anbrennen der Speisen, der Maische u. s. w. Giesst man Wasser zum Fette, so sinkt das erstere als specifisch schwerer zu Boden, und das letztere kommt nicht über Siedehitze; doch wird dieses Verhalten dadurch etwas abgeändert, dass das heisse Wasser sich mit dem Fette verbindet. Reine Fette dagegen sieden nicht, die wässerigen Theile und einige durch Zersetzung entstandene Substanzen entweichen aus ihnen unter Aufwallen in Dampfgestalt, allein diese Dämpfe können nicht wieder niedergeschlagen werden, um die ursprüngliche Flüssigkeit zu geben, und man kann daher nicht sagen, dass solche Flüssigkeiten eigentlich sieden, vielmehr verdicken sie sich zunehmend, werden gebräunt und zuletzt verkohlt. Setzt man ein Gefäss mit Wasser in ein anderes, gleichfalls mit Wasser gefülltes, so dringt zwar die Wärme aus dem äusseren

in das innere, findet aber beim Durchgange durch die Wandungen des Gefässes ein Hinderniss, und da ausserdem das Wasser des inneren Gefässes stets Wärme an die Umgebung abgiebt, so kommt es nie zur Siedehitze. Eine Vorrichtung dieser Art wird angewandt, wenn man Körper nicht bis zur Siedehitze erwärmen will, und heisst Marienbad, oder Wasserbad. *V. Lumperti* setzte 4 stets kleinere Gefässe in einander, und fand die Temperatur des Wassers im äussersten = 80°, im zweiten = 74°, im dritten = 69°, im vierten = 66°, und man könnte also durch eine geeignete Menge von Gefässen auf diese Weise jede beliebige, über die Umgebung wenig hinausgehende, bleibende Temperatur erhalten. Flüssigkeiten endlich, welche in enge und gegen ihre Weite verhältnissmässig sehr hohe Gefässe, namentlich in Kugeln mit engen Röhren, eingeschlossen sind, lassen sich weit über ihren Siedepunct hinaus erhitzen, ohne aufzuwallen, und werden meistens erst später durch den in grösserer Hitze gebildeten Dampf in einem anhaltenden Strome aus den Röhren fortgeschleudert. Die Ursache liegt in dem Anhängen derselben an den Wandungen, die erst völlig überwunden seyn muss, ehe ein Dampfbläschen aufsteigen kann.

161) Durch Zufall gewahrte *Leidenfrost* eine mit der Verdampfung in Verbindung stehende auffallende Erscheinung, die nach ihm der Leidenfrost'sche Versuch genannt und sehr häufig wiederholt worden ist. Wird ein silberner Theelöffel über einer Lichtflamme, oder besser zur Vermeidung des Schmutzes über einer Weingeistflamme, beträchtlich über die Siedehitze erhitzt, und ein Tropfen Wasser hineingeworfen, so verdampft er nicht schnell mit Zischen, wie dieses bei minderer Hitze des Löffels der Fall ist, sondern er bildet sich zu einer runden, meistens sich stark bewegenden Kugel, die man durch neue Tropfen beträchtlich vergrössern kann, bis sie nach geraumer Zeit allmälig verschwindet, es sey denn, dass man die Lampe entfernt und der Löffel erkaltet, worauf der Tropfen augenblicklich mit Geräusch verdampft. Dieser ursprüngliche Hauptversuch ist später vielfach abgeändert worden; man hat ihn mit Gefässen aus verschiedenen

Metallen und sonstigen Massen, und mit anderen Flüsigkeiten angestellt, und stets ähnliche Resultate erhalten. So hat man in glühenden Platintiegeln Tropfen von der Grösse einer Wallnuss und darüber gebildet, ein Stück Eis hineingeworfen, welches geraume Zeit im entstandenen grossen Tropfen zurückblieb; ja *Boutigny* giesst in den, im heftigsten Feuer stehenden, glühenden Platintiegel eine grosse Menge schweflige Säure, welche schon bei — 8^0 siedet, schüttet Wasser dazu, und indem die zur Kugel sich formende, das Wasser umschliessende, schweflige Säure verdampft, erzeugt sie dadurch eine solche Kälte, dass das Wasser in Eis verwandelt wird, und als solches nach Herausnahme des glühenden Tiegels aus dem glühenden Ofen aus diesem geschüttet werden kann. Diese Erscheinung überrascht im höchsten Grade; doch ist die Erzeugung so grosser Kälte unter Einwirkung äusserer Glühhitze aus dem Latentwerden der Wärme (§. 129) leichter erklärbar, als das höchst langsame Verdampfen der Flüssigkeiten in glühenden Gefässen, welches sich wahrscheinlich aus folgenden Ursachen ableiten lässt. Die Temperatur des Wassertropfens steigt nie bis zur Siedehitze, und ein so schnelles Verdampfen, als das des siedenden Wassers kann daher nicht stattfinden. *Boutigny* bestimmt die Hitze zu stets fast 77^0, indess erreicht sie, mindestens in vielen Fällen, diese Höhe schwerlich, denn man kann den Tropfen, auch wenn er die Grösse einer Bohne hat, mit dem Finger berühren, so dass dieser benetzt wird, ohne eine Brandblase zu erhalten. Als gewiss kann gelten, dass der Tropfen die glühende Fläche nicht eigentlich berührt, obgleich es streitig ist, ob man zwischen ihm und der Fläche durchsehen kann. Auf diesem Nichtberühren, und also auch Nichtbenetzen, der Fläche beruhet die Kugelgestalt des Tropfens, denn auch Quecksilber nimmt auf dem, von ihm nicht benetzten, Glase diese Gestalt an; die Ursache mag aber wohl in einer Abstossung der Wärme liegen, die aus dem besseren Leiter nicht leicht in den schlechteren, die Flüssigkeit, übergeht, da die Wärme allgemein das Anhängen der Flüssigkeiten an feste Körper vermindert (§. 134), und ein eigentliches Anhängen, ein Zerfliessen der Flüssigkeit nur dann eintritt,

wenn die Anziehung der Flüssigkeitstheilchen unter sich geringer ist, als gegen die Fläche des festen Körpers. Wenn Einige annehmen, es entstehe unter dem Tropfen Dampf von grösserer Elasticität, welcher ihn in die Höhe hebe, so streitet dieses gegen das Wesen der Dämpfe, welche unter dem gewöhnlichen Luftdrucke keine höhere Elasticität erhalten können. Findet dann keine eigentliche Berührung statt, kann also nur die strahlende Wärme zur Oberfläche der Flüssigkeiten gelangen, so dringt diese nicht leicht in die blanke Oberfläche des Tropfens, von der eingedrungenen wird aber ein grosser Theil durch die diathermane (§. 89) Flüssigkeit hindurchgeleitet, und der geringe Rest dann dazu verwandt, den Tropfen allmälig in Dampf aufzulösen.

162) Die Dämpfe einer siedenden Flüssigkeit müssen den Druck der über der letzteren befindlichen Luft überwinden, und das Aufwallen, was wir eben Sieden nennen, kann nicht eher stattfinden, als bis die Hitze den Dämpfen die hierzu erforderliche Elasticität giebt. Hieraus folgt unmittelbar, um beim Wasser stehen zu bleiben, dass dieses, welches bei dem angegebenen normalen Luftdrucke von 28 Zoll $^9/_{10}$ Lin. par. Mass siedet (§. 158), wenn seine Wärme 80^0 beträgt, bei geringerem Luftdrucke in niedrigerer Temperatur, bei grösserem dagegen erst in höherer zu sieden beginnen wird. Das Sieden durch niedrigere Temperatur bei geringerem Luftdrucke macht man durch zwei interessante Apparate anschaulich, den Wasserhammer und die Franklin'sche Röhre.

Der Wasserhammer besteht aus einer 8 bis 18 Zoll langen, $^1/_2$ bis $1^1/_2$ Zoll weiten, unten verschlossenen Röhre, welche oben mit einer $1^1/_2$ bis 4 Zoll im Durchmesser haltenden Kugel, die in eine lange, oben fein zulaufende Spitze endigt, versehen ist. Die Röhre wird mit reinem Wasser bis an die Kugel gefüllt, und dieses über Feuer mindestens zwei Stunden in starkem Sieden erhalten, bis nur etwa noch ein Drittel des Wassers zurückgeblieben ist; dann wird, während der Dampf noch stark aus der Spitze strömt, letztere mit etwas Siegellack verschlossen, und nachdem der Apparat schnell vom Feuer weggenommen und langsam abge-

kühlt worden ist, mittelst der Lampe und dem Löthrohre zugeblasen. Durch das anhaltende Sieden entweichen die letzten Antheile Luft aus der Röhre und dem Wasser, und der Rest des letzteren befindet sich im völlig luftleeren Raume, wie sich dadurch zeigt, dass es beim Schütteln hart gegen den Boden oder seine eigenen getrennten Theile schlägt, weil ihm beim Fallen keine Luft widersteht. Hält man den Apparat schräg, so dass die Kugel zum Theil mit Wasser gefüllt und dieses durch das in der Röhre zurückgebliebene gerade nur abgesperrt ist, und umfasst man das Ende mit der warmen Hand, so reicht diese Wärme hin, Dampfblasen zu bilden, die mit hörbarem Schalle in die Kugel dringen, vorzüglich wenn man die Kugel mit einem Tische oder einem sonstigen harten Körper in Berührung bringt, um die Resonanz zu vermehren. Man nennt dieses das Schlagen des Wasserhammers. Kleinere Apparate, deren Röhren nur etwa $^3/_4$ Zoll Weite und die Gestalt wie in beistehender Zeichnung haben, die mit Weingeist gefüllt und auf gleiche Weise verfertigt sind, kehrt man um, nachdem die Flüssigkeit durch das enge Röhrchen *e*, entweder in die Röhre *A* oder das Gefäss *B* geflossen ist, umfasst das untere ganz oder fast leere Ende mit der warmen Hand, und gewahrt dann ein eigentliches Sieden, indem die bei geringerer Wärme erzeugten Dämpfe durch das enge Röhrchen *e* aufsteigen; ein Schlagen erfolgt aber nicht, weil der Weingeist ungleich flüssiger und leichter als das Wasser ist. Die

Franklin'sche Röhre, oder der Pulshammer, besteht aus einer etwa 2 Linien weiten Röhre mit zwei gegen 2 Zoll weiten Kugeln, die etwa $^1/_4$ mit rothgefärbtem Weingeist gefüllt und auf gleiche Weise luftleer gemacht sind. Wird der Apparat horizontal gehalten, und die eine der Kugeln, in denen die Flüssigkeit gleichmässig vertheilt ist, mit der Hand umfasst, so treibt der erzeugte Dampf die Flüssigkeit aus der letzteren mit starkem Aufwallen in die andere. Im Augenblicke dieses eigentlichen Siedens empfindet man Kälte in der Hand,

was auf ein Fortströmen der Wärme, wie in dem oben (§. 159) erwähnten Versuche, schliessen lässt.

163) Das eigentliche Sieden des Wassers bei geringerer Wärme zeigt sich am auffallendsten, wenn man ein zur Hälfte mit Wasser von etwa 40^0 gefülltes Trinkglas unter die Glocke einer Luftpumpe stellt und exantlirt. Bei zunehmender Luftverdünnung erheben sich zuerst die Dampfblasen vom Boden, der Dampf erhebt sich als Dunst über der Wasserfläche, und zuletzt tritt ein eigentliches Sieden ein. Sofern also die Siedehitze des Wassers bei geringerem Luftdrucke geringer ist, so hat man vorgeschlagen, aus diesem Siedepuncte den Luftdruck, also auch den Barometerstand, zu finden, und auf diese Weise die Berghöhen mittelst eines in siedendes Wasser gehaltenen Thermometers zu messen, was man thermobarometrisches Höhenmessen nennt. Einige haben diese Methode sehr empfohlen; da aber $^1/_2$ par. Zoll Unterschied des Barometerstandes den Siedepunct nur um etwa $^1/_2$ Grad verändert, so ergiebt sich hieraus, dass diese Messungen auf allen Fall nicht fein seyn können. Wichtiger dagegen ist der Umstand, dass auf Berghöhen, z. B. der Hochebene von Quito, dem Hospitium auf dem St. Bernhard u. s. w., das Wasser wegen geringeren Luftdruckes die gewöhnliche Siedehitze nicht erhalten, folglich auch Fleisch und sonstige Speisen nicht gehörig erweichen kann, wenn man nicht zu künstlichen Mitteln seine Zuflucht nimmt.

164) Befindet sich das Wasser in einem geschlossenen Gefässe, so kann die Luft durch den aufsteigenden Dampf nicht fortgetrieben werden, die Erwärmung und der hinzutretende Dampf erhöhen vielmehr ihre Elasticität, der zunehmende Druck hindert den Dampf aufzusteigen, und es liesse sich auf diese Weise das Wasser bis zur Glühhitze bringen, wenn die Wandungen dem stark wachsenden Drucke zu widerstehen vermöchten. Dieses zeigt sich beim Papin'schen Topfe (Digestor), einem aus dickem Kupfer verfertigten, durch starke eiserne Bänder gegen das Zerspringen gesicherten, Kessel mit einem so vorgerichteten Rande, dass man ihn mittelst eines dicken messingenen Deckels und zwischenliegenden feinen Hanfes luft- oder dampfdicht durch

starke Schrauben verschliessen kann. Hiermit lässt sich die Hitze höchstens bis 250° treiben, denn hierbei fängt der Hanf an, sich zu verkohlen, und hört auf zu schliessen; doch würde der Dampf dann auch schon einen Druck von mindestens 75 Atmosphären, also 900 Pfund gegen 1 Quadratzoll (§. 158), ausüben. Um höhere Hitze zu erreichen, müsste man ein weiches, strengflüssiges Metall als Zwischenlager anwenden, was kein anderes als Gold seyn könnte; denn die Flächen luftdicht auf einander zu schleifen, dürfte bei der ungleichen Ausdehnung der Metalle kaum möglich seyn; auch konnten die Mitglieder der französischen Academie bei ihren neuesten Versuchen den dampfdichten Verschluss der Apparate nicht weiter als bis 25 Atmosphären bringen. Wegen der grossen Elasticität der Dämpfe müssen die Digestoren mit einem Sicherheitsventile versehen seyn, und ihre Behandlung erfordert daher gehörige Sachkenntniss. Wäre dieses nicht, so würden sie zu ökonomischen und technischen Zwecken einen ihren Preis weit übertreffenden Nutzen gewähren. Weil nämlich die Hitze des Wassers und sonstiger Flüssigkeiten, z. B. derer, welche Harze u. s. w. auflösen, sich in ihnen bedeutend steigern lässt, so wird eben dadurch auch deren auflösende Kraft erhöhet, wie man sich ihrer auch namentlich in Holland zur Bereitung der Bouillon aus Knochen bedient. Ausserdem aber gewähren sie eine ausserordentliche Ersparniss an Brennmaterial, weil bei ihnen die im Dampfe latente, nicht weniger als 432 Grade betragende (126) Wärme nicht verloren wird, sondern sie bloss eine weit geringere Menge durch Ausstrahlung aus ihrer Oberfläche abgeben. Ist daher das Wasser bis zur Siedehitze erwärmt, so bedarf es einer nur geringen Zuführung von Wärme, um diese Temperatur bleibend zu erhalten, weswegen man nach Versuchen zum Garkochen des Rindfleisches nicht mehr als etwa den fünften Theil des gewöhnlich erforderlichen Brennmaterials aufzuwenden hat.

165) Der eigentliche Digestor eignet sich nicht zum gewöhnlichen ökonomischen Gebrauche, weil seine Behandlung mehr Fertigkeit und grössere Vorsicht verlangt, als man beim niederen Arbeitspersonal findet. Inzwischen verdient Folgendes beachtet zu

werden. Da das offen kochende Wasser keine höhere Hitze als die dem jederzeitigen Luftdrucke zugehörige Siedehitze annehmen kann, so ist es vergeblich, wenn die Köchinnen durch sogenanntes stärkeres Kochen die Speisen in kürzerer Zeit erweichen wollen, indem der Mehraufwand von Brennmaterial unnütz zur Erzeugung einer grösseren Menge stets nutzlos aufsteigenden Dampfes vergeudet wird. Alles was dagegen das freie Entweichen des Dampfes hindert, erhöhet die Hitze des Wassers, und es gewährt daher mindestens einige Ersparniss an Brennmaterial, wenn die Töpfe mit einem Deckel versehen werden. In einem Theekessel mit genau schliesendem Deckel, dessen Pfeife gleichfalls mit einer Klappe versehen ist, lässt sich die Hitze des Wassers etwas über die des offenen Siedens treiben, auf allen Fall aber erspart man dabei Brennmaterial. Noch mehr geschieht dieses bei den, meistens eisernen, Töpfen, die einen aufgeschliffenen, fest anschliessenden, Deckel haben, in dessen Mitte sich ein gewöhnlich kegelförmiges Ventil befindet, welches bei zu grosser Spannung des Dampfes aufgestossen wird, und letzteren mit Geräusch entweichen lässt. Erfolgt das Aufschlagen des Ventils zu häufig, so ist dieses ein Zeichen, das Feuer zu vermindern.

166) Die übrigen Flüssigkeiten, mit Ausnahme der bereits genannten Oele, verhalten sich auf gleiche oder mindestens ähnliche Weise, als das Wasser, in sofern sie gleichfalls in geringerer Wärme verdunsten, bei stärkerer sieden, sobald der aus ihnen gebildete Dampf eine gleiche Elasticität, als die der Luft, erhalten hat; beim Sieden ist daher die Elasticität aller Dämpfe gleich, jedoch findet das Sieden der verschiedenen Flüssigkeiten in sehr ungleichen Temperaturen statt. Wenn also das Wasser unter mittlerem Luftdrucke bei 80^0 siedet, so sieden unter gleichem Luftdrucke die nachfolgenden Flüssigkeiten bei den nebenstehenden Temperaturen:

Schweflige Säure . . .	8^0	Brom	38^0
Blausäure	20	Essigäther	59
Schwefeläther	29	Alkohol	63
Schwefelkohlenstoff . .	37	Steinöl, gereinigt . . .	68

Essig	81°	Jod	141°
Kampher	83	Phosphor	232
Salpetersäure	97	Schwefel	253
Terpenthinspiritus . .	125	Quecksilber	286

Auflösungen von Salzen sieden um so leichter, je weniger reichhaltig sie sind; es verdampft dann ein Theil ihres Wassers, und ihr Siedepunct rückt höher hinauf. Eben dieses ist der Fall bei der Schwefelsäure, und auch die Milch siedet etwa bei 81°, erfordert aber eine etwas grössere Hitze, wenn sie mehr eingedickt ist.

167) Wir wollen von dieser Betrachtung des besonderen Verhaltens des Dampfes beim Sieden zur Untersuchung des Dampfes, und namentlich des Wasserdampfes, wieder zurückkehren, welcher überall, wo Wasser vorhanden ist, bei jeder Temperatur gebildet wird und sich dann zwar schneller im luftleeren Raume, langsamer aber auch im lufterfüllten ausbreitet, weil alle Gas- und Dampfarten in einander eindringen und sich vermengen. Indem also hiernach der Wasserdampf auch in unserer Atmosphäre nie fehlt, und durch seinen Uebergang in den tropfbar flüssigen Zustand die sämmtlichen atmosphärischen Niederschläge giebt, so verdient er deswegen eben so sehr, als wegen seiner Verwendung zu technischen Zwecken, genauer gekannt zu werden. Betrachten wir denselben als eine Verbindung von Wasser und Wärme, so kommt zuerst die in ihm enthaltene Menge der Wärme, demnächst die Menge des ihn bildenden Wassers und endlich seine Elasticität, alle drei Stücke bedingt durch die Temperatur, in Betrachtung. Die Menge der in ihm enthaltenen Wärme, welche allezeit die Summe der latenten und sensibelen beträgt, und nicht weniger als 512° ausmacht, ist oben (§. 126) bestimmt worden, und wir haben daher hier zunächst die Dichtigkeit, oder die Quantität des in einem gegebenen Dampfvolumen enthaltenen Wassers zu untersuchen. Hierbei ist vor allen Dingen zu bemerken, dass die Dichtigkeit des Wasserdampfes, wenn Flüssigkeit genug vorhanden ist, um so viel Dampf zu bilden, als vermöge der jedesmaligen Wärme möglich ist, unverändert bleibt, es möge mit demselben

noch Luft oder selbst irgend ein anderer Dampf, oder beides, in demselben Raume vorhanden seyn, oder nicht. Befände sich also in einem ganz luftleeren Gefässe etwas Wasser, und betrüge die Temperatur 10^0, so würde so viel Dampf gebildet werden, als die vorhandene Wärme zu erzeugen vermag, und der Dampf hätte seine volle Dichtigkeit. Stiege die Temperatur plötzlich auf 15^0, so würde der Dampf seine volle Dichtigkeit nicht mehr haben, bald aber neuer durch die Verbindung der Wärme mit dem vorhandenen Wasser hinzukommen, bis die volle Dichtigkeit wieder hergestellt wäre, und ginge dann die Temperatur wieder bis 10^0 herab, so würde die neu hinzugekommene Menge Wasser wieder ausgeschieden werden, und sich an den Wandungen des Gefässes ansetzen. In der Atmosphäre fehlen diese Wandungen, der Dampf verwandelt sich daher in Dunstbläschen, erscheint als Nebel, und, wenn die Bläschen sich vereinigen, als Regen. Die Dichtigkeit des Dampfes wird also bloss durch die Wärme bedingt, ist aber dann keine vollkommene, wenn das Wasser fehlt, oder die Zeit nicht genügt, um eine hinlängliche Menge des letzteren aufzulösen. Wäre das Gefäss mit trockener Luft angefüllt, und wir wollen annehmen mit solcher von der Dichtigkeit der Atmosphäre, so würde bei gleichen Temperaturen eine der vorigen ganz gleiche Menge Dampf gebildet werden, jedoch langsamer, weil eine längere Zeit erfordert wird, bis sich der Dampf in der Luft verbreitet; da aber der Dampf gleichfalls Elasticität oder Spannung besitzt, so würde die Elasticität des Gemenges um so viel steigen, als die des hinzugekommenen Antheils beträgt. Betrüge diese also 2 par. Zoll, d. h. wäre die Elasticität des Dampfes so stark, dass sie eine Quecksilbersäule von dieser Höhe in einer Röhre zu heben vermöchte, betrüge die Elasticität der Luft dagegen 28 Zoll, und hätte das Gefäss eine Oeffnung, so würden $\frac{2}{28}$ oder $\frac{1}{14}$ Luft entweichen, und deren Stelle würde durch den Dampf eingenommen werden. Ginge demnächst die Temperatur so weit herab, dass die Elasticität des Dampfes nur noch 1 Zoll betrüge, so würde die Hälfte des Dampfes in Wasser verwandelt werden, und an dessen Stelle $\frac{1}{28}$ Luft eindringen. Aus diesem

Verhalten erklärt sich erstens: dass aus einem Gefässe mit Wasser alle Luft ausgetrieben werden muss, wenn das Wasser siedet, oder seine Dämpfe die Elasticität der Luft erreichen (§. 162), und zweitens, dass die Masse, und also auch die Spannkraft, der mit Dampf vereinten Luft abnimmt, wenn ein Theil des letzteren als Wasser ausgeschieden wird, woraus das Sinken des Barometers beim Regen sich erklären lässt. Durch viele mühsame und zusammengesetzte Versuche hat man die den verschiedenen Temperaturen zugehörigen Dichtigkeiten des Wasserdampfes übereinstimmend sehr genau $\frac{10}{16}$ oder $\frac{5}{8}$ derjenigen gleich gefunden, welche die Luft bei gleicher Wärme und bei gleicher Elasticität haben würde. Beträgt also die Elasticität der Luft 337 par. Linien der Quecksilberhöhe im Barometer, die des Dampfes bei 0^0 aber nur 2 Linien, so ist die Dichtigkeit des letzteren $\frac{5}{8} \times \frac{2}{337} = \frac{5}{1348}$ oder ungefähr $\frac{1}{270}$ der Dichtigkeit der Luft; bei der Siedehitze dagegen $\frac{5}{8}$ oder etwas mehr als die Hälfte, woraus man sieht, wie sehr die Dichtigkeit des Dampfes mit der vermehrten Wärme zunimmt. Da wir das Verhältniss der Dichtigkeit der Luft unter mittlerem Drucke gegen die des Wassers kennen, so enthält die folgende Tabelle die hiernach für die Temperaturen t berechneten Dichtigkeiten d des Wasserdampfes gegen Wasser in Millionteln.

	t	d	t	d	t	d
—	5^0	2	25^0	32	55^0	197
	0	4	30	45	60	252
+	5	6	35	63	65	320
	10	10	40	85	70	402
	15	15	45	114	75	499
	20	20	50	151	80	613

Denke[illegible] h auf unserer Erde einen Flächenraum von [illegible] oder die Meile zu 24000 Fuss angenommen, [illegible] n Quadratfuss, über dieser eine mit Wasserdampf [illegible] 20^0 Temperatur gesättigte Luftmasse von 1000 Fu[illegible] thält diese 144000 Millionen Kubikfuss Luft, und [illegible] r Tabelle 22×144000 Kubikfuss

Wasser in Dampfgestalt. Ginge dann die Temperatur auf 10^0 herab, so würden nur noch 10×144000 Kubikfuss aufgelöset bleiben, und es müssten also 12×144000 Kubikfuss Wasser als Regen herabfallen. Hieraus geht einleuchtend hervor, dass die ehemals für so schwer gehaltene Frage, woher die ungeheure Regenmenge oft nach vorher heiterem Himmel komme, keineswegs unlösbar ist, da obendrein, namentlich im Sommer, die mit Wasserdampf gesättigte Luftschicht noch bedeutend, selbst bis zum Doppelten, höher angenommen werden kann. Von der anderen Seite dürfen aber die grossen, hier gefundenen, Zahlen nicht irre führen, denn obgleich die berechnete Regenmenge nicht weniger als nahe 2960 Millionen Kubikzoll beträgt, so müssen diese zugleich über eine Fläche von 144 Millionen Quadratfuss vertheilt werden, welches also für 1 Quadratfuss Fläche etwas über 20 Kubikzoll Regenwasser giebt. Die grösseren Regenmengen müssen daher daraus erklärt werden, dass die Luftmassen, in denen der Niederschlag vorgeht, während eines Regens oft 6 oder 8 oder mehrmals durch Herzuströmen erneuert werden. In höherer Temperatur ist die Dichtigkeit des Dampfes bedeutend grösser, so dass durch eine Abkühlung von 30^0 bis 20^0 nicht weniger als 23×144000, oder fast doppelt so viele Kubikfuss Wasser in der angenommenen Luftmasse niedergeschlagen würden, woraus die stärkeren Regen im Sommer als im Winter und die unermesslichen tropischen Regen erklärbar werden.

168) Wir haben hierbei angenommen, dass die Luft mit Wasserdampf völlig gesättigt, oder der in ihr vorhandene Dampf von grösster Dichtigkeit sey, was aber bei weitem am seltensten der Fall ist, wie schon daraus hervorgeht, dass bei einem solchen Zustande die geringste Abkühlung sofort einen Niederschlag erzeugen müsste. Wäre dagegen die Luft mit Wasserdampf von halber Dichtigkeit erfüllt, so enthielte sie nach der Tabelle bei 20^0 nur 11 Milliontel ihres Volumens Wasser, und die Temperatur könnte bis ungefähr 12^0 herabgehen, ohne dass ein Niederschlag erfolgte. Hiernach wird um so leichter, und ein desto stärkerer Niederschlag durch Abkühlung der Atmosphäre entstehen, je dichter der in ihr

enthaltene Wasserdampf ist, und man war daher darauf bedacht, den zu Wetterbeobachtungen dienenden Instrumenten auch solche hinzuzufügen, mittelst deren die Dichtigkeit des Wasserdampfes gemessen werden kann, und die man Hygrometer (vom griechischen „*hygros*“ nass) nannte. Bekanntlich giebt es eine Menge Körper, welche die Feuchtigkeit begierig aus der Luft aufnehmen, dadurch quellen oder sonst verändert werden, und daher fast alle zu Hygrometern vorgeschlagen oder benutzt wurden. Ohne vom Quellen des Holzes zu reden, erschlaffen gekräuselte Menschenhaare, Darmsaiten und die Samen der Pelargonien, Geranien u. s. w. in feuchter Atmosphäre, das Kochsalz wird feucht, und wenn der gemahlene Kaffee im Kästchen der Mühle an den Wandungen hängt, so prophezeihen die Köchinnen nicht ohne Grund Regen.

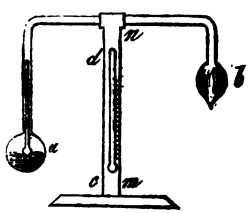
169) Von den zahlreichen, mehr oder minder brauchbaren, Hygrometern wird es genügen, nur die noch jetzt gebräuchlichen namhaft zu machen. Ein einfacher Apparat dieser Art besteht aus einem kleinen, mit zwei Thürchen versehenen, Häuschen von Pappe, in dessen Innerem ein kurzes Stück Darmsaite oben befestigt ist und unten einen leichten Querbalken trägt, auf dessen einem Ende ein Mönch mit einer über den Kopf gezogenen Kutte, auf der andern ein Mädchen mit einem Sonnenschirme steht. Bei feuchter Luft drehet sich die Saite loser, und der Mönch kommt zum Thürchen heraus, durch Trockenheit wird die Saite zurückgedrehet, der Mönch bewegt sich ins Häuschen, und das Mädchen kommt ins Freie. Die Samenkörner der Geranien und Pelargonien steckt man mit der Spitze in ein Loch auf einer runden Scheibe, die Enden ihrer Grannen geben von selbst einen Zeiger, welcher nach der einen Seite umläuft, wenn die schraubenförmig gewundene Granne durch die Feuchtigkeit der Luft mehr erschlafft, nach der andern aber zurückkehrt, wenn Trockenheit eintritt. Um mit geringen Kosten sich ein, nicht eben schlechtes, Hygrometer zu verfertigen, schabe man ein etwa $2^1/_2$ Zoll langes Ende eines nicht präparirten Kieles einer Gänsefeder möglichst dünn, fülle es mit Quecksilber, senke eine 8 bis 12 Zoll lange Thermometerröhre in dieses, so dass es bis etwa in die Mitte aufsteigt, binde

den Kiel mit einem Faden fest und befestige dieses Instrument auf einem Brette mit einer Skale; die Feuchtigkeit dehnt den Federkiel aus, und macht das Quecksilber in der Röhre sinken, Trockenheit bewirkt das Gegentheil. Bei dem durch *de Saussure* erfundenen Hygrometer wird ein blondes Menschenhaar am einen Ende befestigt, am andern um ein Röllchen gewunden, welches den auf ihm befindlichen Zeiger nach der einen Seite drehet, wenn es sich durch Feuchtigkeit verlängert, nach der entgegengesetzten, wenn es sich durch Trockenheit verkürzt. *De Lüc* gab einem etliche Zoll langen, nach den Querfibern der Kiemen durch einen Hobel abgeschnittenen schmalen und sehr dünnen Streifen Fischbein den Vorzug; beide können nur durch geübte Mechaniker verfertigt werden.

170) Die genannten Apparate sind nur Hygroskope, oder solche Werkzeuge, die vorhandene Feuchtigkeit anzeigen, nicht eigentliche messende Hygrometer. Um sie hierzu zu machen, stellt man sie unter eine inwendig mit Wasser befeuchtete Glocke über einem Gefässe mit Wasser, bezeichnet den Punct der Skale, auf welchem der Zeiger nach einiger Zeit feststeht, mit 100, in der Voraussetzung, dass die Luft vollkommen mit Wasserdampf gesättigt sey; dann entfernt man das Wassergefäss unter der Glocke, trocknet diese und setzt ein Gefäss mit noch warmem, frisch geglühetem, salzsaurem Kalke, oder noch besser mit Schwefelsäure, die aber nicht längere Zeit in einem kleinen Glase aufbewahrt seyn, auf allen Fall nicht offen an der Luft gestanden haben darf, darunter. Beide genannte Substanzen entziehen der Luft allen Wasserdampf, und wenn dann der Apparat in der Glocke etliche Stunden über ihnen gehangen hat, so bezeichnet man den dann erreichten Punct der Skale mit 0, und theilt den Zwischenraum zwischen beiden Puncten in 100 Theile. Es scheint, als ergäbe dann der jedesmalige Stand des Zeigers eines so graduirten Hygrometers, wie viele Hundertel des Wasserdampfes von grösster Dichtigkeit in der Luft enthalten sind, z. B. 50 Hundertstel, oder die Hälfte der völligen Sättigung, wenn die Skale 50 zeigt; allein nach genauer Prüfung der Sache findet dieses

nicht statt. Man hat zwar versucht, die Skale, namentlich des Haar-Hygrometers, wegen dieses Fehlers zu corrigiren, allein alle Hygrometer der genannten Art unterliegen noch einem andern unvermeidlichen Fehler, weswegen sie nicht als genaue Messwerkzeuge dienen können, obgleich sie noch mitunter, namentlich von Reisenden, gebraucht werden. Wenn nämlich die Luft die genannten Substanzen wiederholt austrocknet, und der in der Luft nie fehlende Staub in ihre Poren dringt, so verlieren sie ihre Anziehungsfähigkeit gegen den Wasserdampf, und somit allmälig ihre Brauchbarkeit, wie denn bekanntlich auch hinlänglich trocknes Holz sich nicht mehr verzieht.

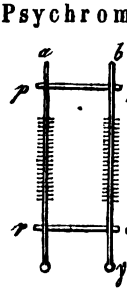
171) Die Physiker waren daher sehr erfreut, als der Engländer *Daniell* ein allerdings unveränderliches Hygrometer bekannt machte. Dieses besteht aus einer etwa 2 Linien weiten Glasröhre



mit 2 Kugeln *a* und *b*, welche nach hineingebrachtem Schwefeläther und Sieden auf die oben (§. 162) angegebene Weise luftleer gemacht sind. Von der Flüssigkeit bleibt gerade so viel zurück, dass die Kugel *a* genau bis zur Hälfte gefüllt ist. In der Mitte der Kugel *a* befindet sich die Kugel eines sehr kleinen Thermometers, dessen elfenbeinerne Skale in der Röhre mittelst etwas Gummi festgeklebt ist, die andere Kugel *b* wird mit etwas Musselin überzogen, und die so hergerichtete Röhre auf der vierkantigen Säule *n m* befestigt, in deren aufgeschlitzter Mitte sich ein zweites Thermometer *c d* befindet. Beide Thermometer zeigen bei guten Apparaten gleiche Grade; tröpfelt man aber auf das Musselin der Kugel *b* etwas Schwefeläther, so erzeugt dessen Verdampfung eine grosse Kälte, der Aether in der Kugel *a* verdampft gleichfalls und schlägt sich in der Kugel *b* nieder, und wenn dadurch die Kugel *a* bis zu derjenigen Temperatur herabgegangen ist, bei welcher der Dampf der Luft seine grösste Dichtigkeit, seinen Sättigungspunct hat, so schlägt sich Feuchtigkeit auf ihrer Oberfläche nieder, die gerade in der Mitte mit einem 2 Linien breiten Ringe von blankem Golde umgeben

ist, um den feinsten Niederschlag sichtbar zu machen. In diesem Augenblicke zeigt das Thermometer *a* die dem beginnenden Niederschlage zugehörige Temperatur, und nach der oben (§. 167) gegebenen Tabelle wird der Gehalt der Luft an Wasserdampf gegeben. Diesen Punct nennt man den Thaupunct, weil bei einer bis zu ihm herabgehenden Temperatur der feinste Niederschlag, der Thau, beginnen würde. Wie sinnreich übrigens dieser Apparat ausgedacht seyn mag, so ist er praktisch dennoch unbrauchbar; denn des kostspieligen Verbrauchs an Schwefeläther nicht zu gedenken, kann auch der geübteste Beobachter den feinsten Niederschlag und die Grade, welche das eingeschlossene, schnell sinkende, Thermometer in diesem Augenblicke zeigt, nicht jederzeit genau erkennen.

172) Ungleich besser ist daher das von *August* erfundene Psychrometer (vom griechischen „*psychros*," nasskalt). Dieses besteht aus zwei feinen Thermometern *a* und *b*, deren Skalen nur 30 Grade über und ebenso viel unter 0 enthalten, aber in Fünftelgrade getheilt sind, um Zehntel schätzen zu können. Beide hängen an dem Rahmen *pq*, *rs*, und die eine Kugel *γ* ist mit Musselin überzogen, den man benetzt, indem man die Kugel in ein Glas Wasser taucht, den hängenbleibenden Tropfen aber durch den Rand des Glases wegnimmt, oder indem man ihr Wasser aus einem Gefässe durch einen Faden oder einen Streifen Badeschwamm zuführt. Beide Thermometer müssen im trockenen Zustande gleiche, der Umgebung zugehörige, Grade zeigen; ist aber die Kugel des einen benetzt, so verdampft deren Wasser, entzieht der Umgebung und dem Thermometer die zur Bildung des Dampfes erforderliche Wärme bis zu derjenigen Temperatur herab, bei welcher keine weitere Dampfbildung und dadurch bewirkte Abkühlung des Thermometers mehr möglich ist, weil der in der umgebenden Luft bereits vorhandene Dampf die jener Temperatur zugehörige grösste Dichtigkeit schon hat, also bis zum Sättigungspuncte der Luft, welcher daher durch das benetzte Thermometer angegeben



wird. Diese Temperatur, unter welcher ein Niederschlag des in der umgebenden Luft vorhandenen Dampfes erfolgen würde, liegt etwas höher als der Thaupunct des Daniell'schen Hygrometers, und dem Psychrometer werden daher Tabellen beigegeben, um die Beobachtung auf die des Hygrometers zu reduciren; im Allgemeinen aber ist der Zweck beider Instrumente klar. Wäre z. B. die äussere Temperatur 15^0, und der gefundene Thaupunct 5^0, so müsste die Temperatur 10^0 herabgehen, bis ein Niederschlag entstehen könnte, und die Trockenheit der Luft liesse keinen Niederschlag erwarten; läge dagegen bei gleicher äusserer Wärme der Thaupunct bei 14^0, so dürfte die Temperatur nur 1^0 herabgehen, und bei so feuchter Luft wäre auf Regen zu rechnen. Es leuchtet übrigens von selbst ein, dass auch ein einzelnes, mit Musselin überzogenes, Thermometer ausreicht, wenn man dasselbe erst trocknet und dann sofort nach der Benetzung beobachtet.

173) Uebergehen wir die Untersuchung der Dichtigkeiten der übrigen Dämpfe mit der allgemeinen Bemerkung, dass die meisten derselben im Siedepuncte der Flüssigkeiten dichter sind, als der Wasserdampf, in mittlerer Temperatur aber um so viel dünner, je höhere Hitze zu ihrer Bildung erfordert wird, weswegen die Dämpfe des Quecksilbers und der Metalle, die aus Hohöfen aufsteigen, in der Luft sich kaum auffinden lassen, und so verdient nur noch die dritte Bestimmung, nämlich die der Elasticität, eine nähere Erörterung. Bei'm Wasserdampfe hat man wegen der technischen Anwendung desselben sich unendliche Mühe gegeben und die grössten Kosten aufgewandt, um seine den verschiedenen Wärmegraden zugehörigen Elasticitäten völlig genau kennen zu lernen, ohne diese Aufgabe bis jetzt vollständig zu lösen. Dass die Elasticität des Wasserdampfes bei 0^0 nur so viel beträgt, um eine Quecksilbersäule von $2^1/_{25}$ par. Lin. zu tragen, bei 80^0 aber, dem Luftdrucke gleich, $336^0/_{10}$ Linien, wissen wir wohl mit Gewissheit; bei 40^0 können wir sie zu $3^2/_3$ par. Zoll oder $40^4/_5$ par. Linien setzen, und hieraus ergiebt sich schon, dass sie keineswegs in gleichem Verhältniss mit den Temperaturen zunimmt,

sondern bedeutend stärker. Aus dieser Ursache sind die Bestimmungen für die höheren Hitzegrade bis zu einer und selbst mehreren Atmosphären unsicher, und wir wissen bloss ungefähr, dass die Elasticität z. B. bei 160^0, also der doppelten Wärme des siedenden Wassers, schon 15 Atmosphären oder $15 \times 336^9/_{10}$ Linien, oder etwas über 421 Zoll Quecksilberdruck, und für 200^0 fast 40 Atmosphären beträgt. Da wir aber (§. 158) gesehen haben, dass der Druck einer Atmosphäre gegen einen pariser Duodecimalquadratzoll etwa 15 Pfund beträgt, so würde eine Hitze von 200^0 einen Druck von 600 Pfund gegen eine solche Fläche erzeugen, und das Zerspringen der grossen Dampfkessel ist hiernach nicht mehr räthselhaft. Diese Hitze genüget indess noch nicht, um nur Zinn zu schmelzen (§. 154), das schwächste Rothglühen der Metalle beginnt aber erst bei 420^0, also bei mehr als der doppelten, hier angenommenen, Hitze (§. 71), für welche die Elasticität gegen 470 Atmosphären betragen mag.

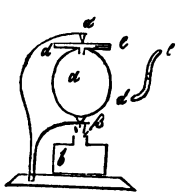
174) Die Elasticitäten sonstiger Dämpfe ausführlich zu untersuchen, würde für unsere Zwecke von nicht grossem Nutzen seyn, und es möge daher die Bemerkung genügen, dass alle Dämpfe siedender Flüssigkeiten bei gleichem Barometerstande gleich elastisch sind, was aus ihrem Wesen nothwendig folgt. *Dalton* will ferner gefunden haben, dass von diesem Siedepuncte derselben an die Elasticitäten aller für gleiche Temperaturunterschiede über oder unter diesem Puncte einander gleich sind, dass also z. B. der Dampf des bei 63^0 siedenden Alkohols (§. 166) bei 53^0 und bei 73^0 gleiche Elasticität habe, als Wasserdampf bei 70^0 und 90^0; und wenn dieses nach ihm benannte Gesetz auch nicht vollständig genau ist, so kann es doch als ungefähr richtig gelten, und in vielen Fällen mit Nutzen angewandt werden.

175) Der Wasserdampf, sehr selten der Dampf anderer Flüssigkeiten, wird benutzt zur Dampfheizung (§. 96) und zur Auflösung einiger Körper, indem man diese in Sieben oder durchlöcherten metallenen Schüsselchen im oberen Raume eines Papinschen Digestors (§. 164) aufhängt, z. B. bei der Firnissbildung mit Weingeist oder Terpenthinspiritus. Ausserdem benutzt man

den Wasserdampf zum Kochen mittelst zweierlei verschiedener Vorrichtungen, welche beide gegen das Anbrennen der Speisen schützen, da die Hitze der Gefässe, worin diese sich befinden, und in welche man die Dämpfe aus einem anderen geheizten Gefässe überströmen lässt, nie über die des Siedens steigen kann, und die zu kochenden Substanzen den von der Wärme durchströmten Boden nicht berühren. Uebrigens gewähren solche Vorrichtungen keine Ersparung an Brennmaterial, ausser etwa in sofern, als man das zum Heizen des Dampfgefässes dienende Feuer einschliessen und vortheilhafter einrichten kann. Die einfachsten Vorrichtungen dieser Art sind Töpfe, über deren Boden in etwa 2 Zoll Höhe sich eine durchlöcherte Platte oder ein anderes mit durchlöchertem Boden versehenes Gefäss befindet. Wird dann in den Topf etwa 1 Zoll hoch Wasser gegossen, die Platte oder das Gefäss mit den zu kochenden Gegenständen, z. B. Kartoffeln, gefüllt, ein Deckel aufgelegt und der Topf auf das Feuer gestellt, so dringt der siedend heisse Dampf durch die Löcher, verbreitet sich durch die zu kochenden Körper, und erweicht sie, ohne dass Wasser in die bereits erweichten Theile eindringt, weswegen namentlich Kartoffeln, die vorher mit Salz bestreuet werden müssen, auf diese Weise wohlschmeckender werden. Die zweite Vorrichtung, in älteren Zeiten „Pelikan" genannt, besteht aus einem verschlossenen, gut heizbaren, metallenen Wasserkessel, aus welchem ein gekrümmtes Rohr in dasjenige Gefäss herabgeht, in welchem die Speisen gekocht werden sollen. Die durch das Rohr übergeführten siedend heissen Dämpfe geben ihre Wärme an den Inhalt des Gefässes ab, und erhalten diesen fortwährend bei der Temperatur des Siedens. Einen Versuch im Kleinen, um dieses Verhalten genauer kennen zu lernen, kann man mit der oben (§. 126) beschriebenen Kugel anstellen, indem man deren Rohr in ein Glas mit Wasser herabsenkt, und dann wahrnimmt, wie der stark, selbst mit Geräusch, ausströmende Dampf in dem Wasser zuerst spurlos verschwindet, dann dasselbe zunehmend erhitzt und endlich in anhaltendes starkes Sieden versetzt. Ueber die an sich sehr einfache Aufgabe ausführlich zu handeln, würde

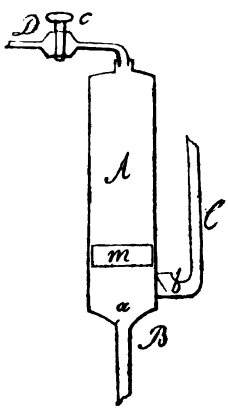
überflüssig seyn; es genügt vielmehr im Allgemeinen zu bemerken, dass aus dem gemeinschaftlichen Dampfgefässe mehrere Rohre in verschiedene andere geleitet werden können, von denen man nur diejenigen mittelst eines Hahns öffnet, von denen man Gebrauch machen will. Die Vorrichtung ist ausserdem sehr geeignet zum Anbrühen der Maische u. s. w., jedoch da nicht anwendbar, wo die Flüssigkeit verdampft werden soll, indem allezeit ein Theil des zugeführten Dampfes zurückbleibt.

176) Ueberwiegend vorzugsweise benutzt man den Dampf als bewegendes Mittel. Die ersten Ideen einer Benutzung der Elasticität des Dampfes finden sich schon bei *Heron* von Alexandrien (um 120 v. C. G.), auch soll der Spanier *Blasco de Caray* schon 1543 ein Modell eines Dampfbootes gemacht haben; ausserdem aber findet man eine dunkle Angabe eines gewissen *Mathesius* (um 562), die verworrenen Aeusserungen des *Marquis von Worchester* (1663) werden von Einigen höher geschätzt, als ihre Nichtigkeit verdient, *de Caus* (1624) kannte bloss *Heron's* Maschine, die Vorschläge des *Dionysius Papinus* (1707) waren unpraktisch, obwohl er die Aufmerksamkeit auf die Anwendung des Wasserdampfes richtete, und somit kann also *Savery* (1696) als erster Erfinder seiner eigenthümlichen Dampfmaschine gelten, welche den jetzt fast ausschliesslich gebrauchten, von *Newcomen* (1705) erfundenen, durch *Watt* verbesserten, voranging. Es giebt nämlich 5 verschiedene Methoden, den Dampf als bewegendes Mittel anzuwenden. Die erste besteht darin, den ausströmenden Dampf gegen die Flügel eines Rades blasen zu lassen, und diese dadurch umzutreiben, ein oft gemachter, nie im Grossen ausgeführter, Vorschlag, weil die erzeugte Kraft im Verhältniss zum erforderlichen Brennmaterial viel zu gering ist. Die



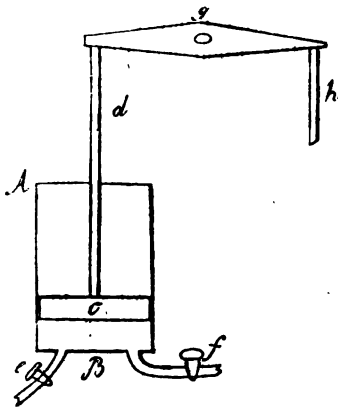
zweite, durch *Heron* vorgeschlagene, Methode wird durch *v. Kempelen's* Dampfdreher anschaulich. Zwischen den beiden, auf einem Brette befestigten, Bügeln α und β befindet sich die mit zwei feinen Spitzen in kleinen Vertiefungen laufende hohle, mit Weingeist zur Hälfte gefüllte,

Kugel *a*, unter welcher die Weingeistlampe *b* brennt. Oben in die Kugel ist mittelst eines hohlen Zapfens die krumme, gleichfalls hohle, in feine Spitzen auslaufende, Röhre *d e* gesteckt, die man aus der besondern Zeichnung deutlicher erkennt. Die Dämpfe des Weingeistes entweichen aus den Spitzen der Röhre, üben, wie das Wasser bei der Segner'schen Mühle, einen Gegendruck aus, und drehen die Kugel in einer der Krümmung der Spitzen entgegengesetzten Richtung um; allein auch hierbei ist die Kraft zu gering. Die dritte Methode wurde schon 1699 von *Amontons* vorgeschlagen. Hiernach soll ein hohler, durch Speichen gehaltener, inwendig mit geeigneten Klappen versehener Ring zu etwa $^1/_3$ mit Wasser gefüllt werden, welches durch eintretenden Dampf mittelst der Klappen an die eine Seite des Ringes getrieben wird, und durch sein Gewicht das Rad umtreibt. Diese Maschine ist ausser andern auch durch *Mastermann* und *Onions* verbessert worden, welcher den Ring mit leichtflüssigem, in siedend heissem Dampfe schmelzendem, Metall (§. 147) füllte, weil dieses wegen seines grösseren Gewichts weit brauchbarer ist, als Wasser. Nach der vierten Methode ist die durch *Savery* erfundene Dampfmaschine construirt. In ihrer einfachsten Gestalt besteht sie aus dem metallenen Gefässe *A*, und dem Rohre *B*, welches in einen Brunnen, oder in denjenigen Behälter hinabgeht, woraus das Wasser in die Höhe gefördert werden soll; die lothrechte Höhe beider darf nicht mehr als etwa 28 pariser Fuss betragen, weil sonst der Luftdruck nicht genügt, das Wasser in ihnen in die Höhe zu heben. In den Behälter *A* ist die Röhre *D* mit ihrem gekrümmten Ende dampfdicht schliessend eingesenkt, die durch den Hahn *c* geschlossen und geöffnet werden kann; aus ihm steigt ferner die Röhre *C* in die Höhe, durch welche das Wasser an den Ort seiner Bestimmung gefördert wird, und welche, eben wie die Röhre *B*, mit einem Ventile verschlossen ist. Denken wir uns das Gefäss *A*



leer und den Hahn *c* geöffnet, so wird aus dem dampfdicht schliessenden Kessel durch das mit ihm verbundene Rohr *D* siedender Wasserdampf das Gefäss *A* füllen und die Luft durch das Rohr *C* austreiben, bis das Verschliessen des Hahns *c* den Zutritt des Dampfes aufhebt; das Gefäss *A* kühlt sich ab, es entsteht in ihm ein luftleerer Raum, weil das zugefallene Ventil *b* den Zutritt der Luft hindert, und die äussere Luft drückt das Wasser nach geöffnetem Ventile *a* in den Behälter. Alsdann öffnet man den Hahn *c* wieder, das Ventil *a* fällt zu, das Ventil *b* öffnet sich, und der Dampf drückt das Wasser im Rohre *C* so hoch in die Höhe, als man es durch die Elasticität des Dampfes treiben will. Hierbei liegt ein Hinderniss darin, dass der eindringende Dampf vom kalten Wasser verschluckt wird, weswegen man einen Schwimmer *m* von Kork oder leichtem Holze auf dem Wasser schwimmen lässt, um die unmittelbare Berührung des Dampfes mit dem Wasser zu vermindern, allein die Maschine ist dennoch nur in denjenigen Fällen mit Nutzen anwendbar, wenn das gehobene Wasser ohnehin erwärmt werden soll, und daher die aus dem Dampfe aufgenommene Wärme hierbei zu Gute kommt. Dass man nach erfolgter Entleerung des Gefässes *A* den Hahn schliessen müsse, damit der Dampf niedergeschlagen werde, und die Füllung abermals beginne, versteht sich von selbst. Eine Verbesserung würde darin bestehen, wenn man eine Vorrichtung anbrächte, die den Hahn jederzeit öffnete und schlösse, allein dadurch verlöre die Maschine ihre Einfachheit, und in denjenigen Fällen, wo sie vortheilhaft Anwendung findet, sind zugleich Arbeiter vorhanden, welche den Hahn umdrehen können.

177) Die fünfte und letzte Methode, den Dampf als bewegendes Mittel zu gebrauchen, kommt bei den durch *Newcomen* erfundenen, durch *Watt* wesentlich verbesserten und daher nach diesem benannten, jetzt allgemein gebräuchlichen, Maschinen in Anwendung, deren vollständige Beschreibung ein eigenes Werk erfordern würde, weswegen folgende allgemeine Bestimmungen genügen mögen. Die ersten, sogenannten atmosphärischen Maschinen, weil der Druck der Atmosphäre die Bewegung erzeugte,



bestanden aus einem metallenen, oben offenen, Cylinder *A B* mit einem Kolben *c* und dessen Stange *d*, nebst zwei durch die Hähne *e* und *f* verschliessbaren Röhren. Denken wir uns den Kolben *c* bis auf den Boden herabgedrückt, und dann durch den geöffneten Hahn *f* siedend heissen Wasserdampf aus dem Dampfkessel einströmend, so ergiebt sich leicht, dass der Kolben *c* in die Höhe steigen muss, hauptsächlich wenn die am anderen Arme des Balanciers *g* hängende Pumpenstange *h* hierzu mithilft, wie dieses bei der ursprünglichen Einrichtung der Fall war. Ist der Kolben oben angekommen, so wird der Hahn *f* verschlossen, der Hahn *e* dagegen geöffnet, der Dampf entweicht durch dieses Rohr in das kalte Wasser eines tiefen Brunnens; auch brachte man Vorrichtungen an, um kaltes Wasser in den Stiefel zu spritzen, damit dieser sich abkühlte, ein leerer Raum entstände und die äussere Luft den Embolus *c* herabdrückte. Das abwechselnde Schliessen und Oeffnen der Hähne geschah anfangs durch einen Arbeiter; als aber ein junger Mensch, Namens *Potter*, hierfür angestellt war, wollte er statt dieser langweiligen Arbeit lieber seinem Vergnügen, namentlich dem Schmetterlingsfange, nachgehen; er brachte daher am Ende des Balanciers *g* Stangen an, welche die Hähne, wenn der Embolus oben und unten angekommen war, entgegengesetzt öffneten und schlossen, und ward dadurch Erfinder der später allgemein eingeführten Selbststeuerung solcher und anderer Maschinen. Durch genauere Untersuchung des Verhaltens der Dämpfe entdeckte *Watt*, dass es zu lange Zeit und unverhältnissmässig viel Brennmaterial erfordere, den Stiefel abzukühlen und wieder durch Dampf zu erwärmen. Nach der durch ihn verbesserten Einrichtung sucht man vielmehr den mit einer schlecht wärmeleitenden dicken Hülle umgebenen Stiefel möglichst warm

zu erhalten, lässt die Kolbenstange *d* in einer dampfdicht schliessenden Stopfbüchse sich bewegen, und versieht den Stiefel oben und unten mit einem Zuleitungs- und Ableitungsrohre des Dampfes, so dass dieser allein, mit Ausschluss des atmosphärischen Luftdruckes, den Kolben auf- und abwärts bewegt.

178) Die hier gegebenen einfachen Grundsätze enthalten alles das, was zur Einrichtung der jetzt so vielfach angewandten Dampfmaschinen gehört, mit folgenden wesentlichsten Modificationen. Meistens hat der Dampf nur die Siedehitze oder etwa 2^0 bis 4^0 darüber, und die Maschinen heissen dann solche von einfachem atmosphärischem Drucke. Einige, namentlich in America nicht ganz selten gebräuchliche, Maschinen, die sogenannten Hochdruckmaschinen, werden durch Dampf von grösserer Spannung, z. B. von 2, 4 oder 6 Atmosphären, bewegt, und *Perkins* will die Spannung des Dampfes in seinem dicken, vertical stehenden, Heizcylinder bis zu 35 Atmosphären gebracht haben, allein die Praktiker in England scheinen, aller Anpreisungen in Zeitschriften ungeachtet, die Erfindung kaum einer ernsten Aufmerksamkeit zu würdigen. Mehr Anwendung haben die Expansionsmaschinen gefunden, und nach theoretischen Gründen verdienen sie allerdings den Vorzug. Angenommen, der einströmende Dampf habe doppelte atmosphärische Spannung, so wird er den Kolben mit einer dieser zugehörigen Kraft heben, und sich dann, nachdem der Hahn geschlossen ist, noch durch den doppelten Raum mit einfacher Kraft ausdehnen, wonach also bloss doppelte Spannung erzeugt, aber der dreifache durchlaufene Raum des Embolus erhalten wird. Sonstige Verschiedenheiten beziehen sich hauptsächlich auf die Ventile, indem man die zu leicht sich abnutzenden Hähne meistens verlassen, und statt deren Schieberventile, Bleche, welche die Einströmungs- und Ausströmungs-Oeffnungen des Dampfes durch Verschiebung öffnen und schliessen, eingeführt hat. Bei den auf einen kleinen Raum beschränkten Maschinen der Locomotiven strömt der Dampf nach der Bewegung des Kolbens in's Freie, was dann das keuchende Getöse erzeugt. Bei den grösseren Maschinen dagegen verdichtet man ihn zu Wasser, und bringt letz-

teres schon erwärmt wieder in den Kessel zurück. Dass dieses mit Vortheil geschehen könne, indem immer noch bewegende Kraft in Fülle übrig bleibt, ergiebt sich bald, wenn man berücksichtigt, dass (§. 173) Dampf von 80^0 Wärme über 8 mal mehr Elasticität hat, als der von 40^0, und (§. 167) über 7 mal so viel Wasser enthält. Bei gewöhnlichen Dampfmaschinen von atmosphärischem Drucke beträgt die Hitze des Dampfes stets einige Grade mehr, als welche gerade zum Sieden gehört, wie sich schon aus dem Geräusche ergiebt, womit der Dampf ausströmt, und wenn dann in den Maschinentheilen seine Abkühlung auch nur bis 40^0 herabgeht, so reicht der Unterschied dieser Temperaturen doch dazu hin, dass der Dampf die volle Kraft des atmosphärischen Druckes ausüben kann.

179) Auf diesen Grundlagen beruhet die Berechnung der Wirksamkeit der Dampfmaschinen, die man nach Pferdekräften zu bestimmen pflegt. *Watt* nahm an, ein Pferd könne während eines ganzen Tages 8 Stunden eine Last von 200 engl. Pfund mit einer Geschwindigkeit von $3^1/_2$ engl. Fuss in jeder Secunde heben, und dieses giebt dann das Maass einer Pferdekraft, die man auf 200 Pfund zu setzen pflegt. Hierbei ist zu bemerken, dass diese Bestimmung nicht sagen will, ein Pferd könne 200 Pfund auf einem Wagen ziehen, denn um dieses auf der horizontalen Ebene zu bewirken, bedarf es nur der Ueberwindung der Reibung, da das Gewicht selbst von der Ebene getragen wird; die Reibung an den Axen und auf den Unebenheiten der Strasse beträgt aber unter günstigen Umständen und bei gehöriger Schmiere nur etwa $\frac{1}{20}$ der Last, so dass ein Pferd von 200 Pfund Kraft 40 Centner ziehen würde, die man aber wegen vorkommender Erhöhungen nicht zu laden pflegt. Bei gut construirten Eisenbahnen beträgt die Reibung, wie sie Graf *Pambour* nach den neuesten Versuchen bestimmt, nur $\frac{1}{180}$ der Last, und man wird auf allen Fall nicht zu viel rechnen, wenn man sie zu $\frac{1}{300}$ annimmt. Hiernach vermag also ein Pferd von 200 Pfund Kraft nicht weniger als 600 Centner zu ziehen, wobei sich von selbst versteht, dass das Gewicht des Wagens in dieser Last mit begriffen seyn

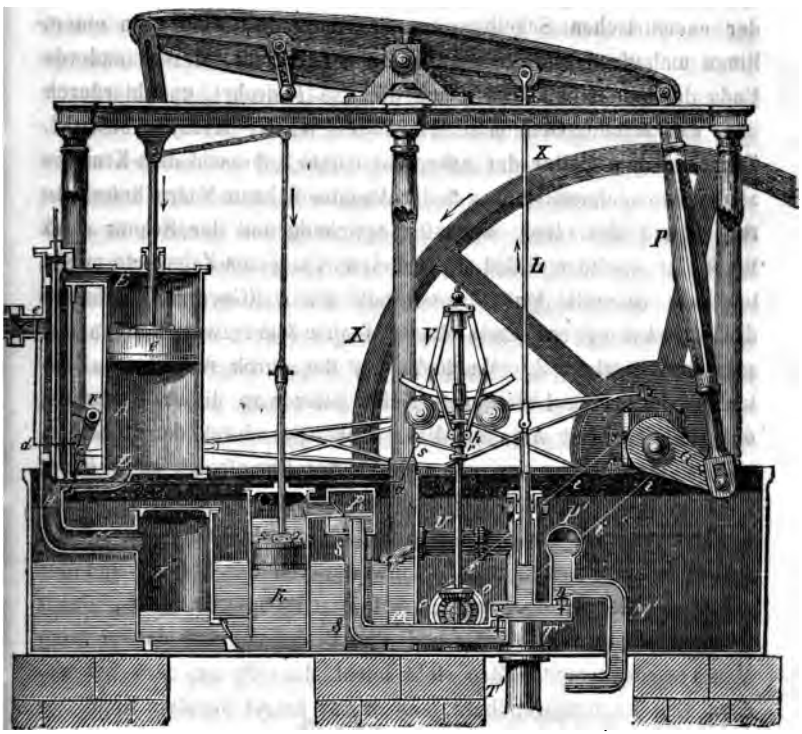
muss. Wenn sich nun hieraus ergiebt, wie sehr der Transport durch Eisenbahnen erleichtert wird, so darf nicht übersehen werden, dass hierbei eine völlig wagerechte Ebene vorausgesetzt ist, und die erforderliche Kraft schon verdoppelt werden muss, wenn die Bahn auf 300 Fuss Länge 1 Fuss Steigung hat; denn auf einer nur etwas mehr geneigten Bahn würden die Wagen ohne Kraft herab rollen, wie gewöhnliche Wagen auf mehr geneigten Strassen von selbst herabkommen, wo nicht gehemmt werden müssen. Die Kraft eines Pferdes beträgt übrigens keine 200 engl. Pfund, wenn dasselbe 6 Tage in der Woche täglich 8 Stunden arbeiten soll, sondern nur mit Sicherheit bei gewöhnlichen Arbeitspferden von mittlerer Grösse zwischen 120 bis 130 nürnberger Pfund; man hat sie aber so hoch angenommen, weil man dann bei den Dampfmaschinen auf die Hindernisse der Bewegung, namentlich auf den bei den Kolben etwa vorbeistreichenden Dampf keine Rücksicht nimmt. Ein Pferd arbeitet ferner nur 8 Stunden täglich, die Dampfmaschine aber 24 Stunden, also dreimal so viel, worauf jedoch bei der Berechnung keine Rücksicht genommen wird. Obgleich aber die Kraft der Dampfmaschine so oft nach Pferdekräften angegeben wird, so sind dennoch hierüber noch keine allgemein gültige feste Bestimmungen vorhanden, weil man sich über die Kraft eines Pferdes noch nicht völlig vereinigt hat. Sehr allgemein wird angenommen, dass die Kolbenstange binnen 1 Secunde 3 bis $3^1/_2$ Fuss steigt und in eben der Zeit wieder zurückgeht, wonach also ihre Geschwindigkeit der des Pferdes gleich kommt, weil der Kolben sowohl bei'm Aufsteigen als auch bei'm Herabgehen wirkt. Nehmen wir dann mindestens ungefähr genau die Pferdekraft zu 150 Pfund an, den Druck der Luft aber, oder den des siedend heissen Dampfes, gleichfalls etwas hoch zu 15 Pfund gegen 1 pariser Quadratzoll, so müsste die Fläche des Kolbens, welchen der Dampf hebt, 10 Quadratzoll betragen, um so viel zu leisten, als 1 Pferd. Nach der älteren Bestimmung von *Watt* geben 22 engl. Quadratzoll Fläche des Kolbens eine Pferdekraft, nach *Smeaton* aber schon $15^1/_3$ Zoll. Bei Dampfschiffen grösserer Flüsse und auf der See sind in der

Regel 2 Stiefel, also auch 2 Kolben vorhanden, doch übersieht man leicht, von welcher kolossalen Grösse Maschinen von 300 bis 400 Pferdekräften seyn müssen, wobei noch zu berücksichtigen ist, dass der verhältnissmässige Verbrauch der Kohlen bei den grossen Dampfmaschinen gegen die sehr kleinen bis auf die Hälfte herabsinkt. Im Mittel rechnet *Watt* $\frac{3}{10}$ bis $\frac{4}{10}$ Pfund gute Steinkohlen für 1 engl. Quadratzoll Fläche des Kolbens in 1 Stunde; doch sind seitdem die Heizapparate bedeutend verbessert.

180) Endlich wollen wir unter dem Vielen, was bei den Dampfmaschinen in Betrachtung kommt, nur noch das Zerspringen der Kessel hervorheben. Diese Dampfkessel bestehen aus Kupfer oder, des geringen Preises wegen, aus Eisen, letzteres oft von der Dicke eines Zolles und darüber. Sie müssen zur Sicherung des Publicums vorher probirt, d. h. mit Wasser gefüllt, und dieses muss so stark gepresst werden, als der bei der Anwendung mögliche Druck des Dampfes betragen kann; bloss die Americaner unterwerfen sich diesen, in andern Staaten eingeführten, weisen Regierungsmassregeln noch nicht. Wenn die geprüften Kessel demnächst dennoch zerspringen, so liegt die Schuld fast allezeit an der sträflichen Unachtsamkeit und Gleichgültigkeit der Arbeiter, denn die Kessel sind ausserdem stets mit einem oder mehreren Sicherheitsventilen versehen, aus denen der Dampf entweicht, wenn seine Kraft zu gross wird. Aber diese werden zuweilen zufällig, oder in der Absicht, eine stärkere Wirkung zu erlangen, so stark belastet, dass sie sich gar nicht öffnen können. Neuerdings hat man indess zwei Ursachen entdeckt, welche Unglücksfälle herbeiführen können, wenn die Aufseher es an der gehörigen Achtsamkeit fehlen lassen. Man wollte wahrgenommen haben, dass vor dem Zerspringen der Dampfkessel die ihre Ventilöffnungen verschliessenden Klappen aufsprangen, sich aber, nach dem Entweichen einer geringen Menge Dampf, sofort wieder schlossen und dann erst das Zerplatzen erfolgte. Diese anscheinend durchaus regelwidrige Erscheinung wurde erklärbar durch das bald nachher entdeckte pneumatische Paradoxon, was sich auch ohne Apparate anschaulich machen lässt. Man schneide

in die Mitte einer halben gewöhnlichen Spielkarte ein Loch, befestige darin mit Siegellack eine offene Federspuhle, lege sie auf die andere Hälfte der Karte und blase durch die Spuhle, so wird auch beim heftigsten Blasen das untere Stück nicht fortgestossen, sondern vielmehr angezogen werden, weil die durchströmende bewegte, und dadurch verdünnte, Luft sich ausbreitet, die äussere aber mit ihrer ganzen Kraft die untere Platte andrückt. Stumpfkegelförmige Ventile sind daher den früher gebräuchlichen Klappen vorzuziehen, auch haben die Dampfkessel eine Vorrichtung, an der man sehen kann, wenn die Spannung des Dampfes zu stark wird, in welchem Falle der Arbeiter das Sicherheitsventil öffnet und eine Quantität Dampf ausströmen lässt. Eine zweite grössere Gefahr entspringt aus einem dem Leidenfrost'schen Versuche (§. 161) ähnlichen Verhalten. Umspielt das Feuer die Wandungen des nicht genügend mit Wasser gefüllten Kessels so, dass sie glühend werden, so trennt sich das Wasser von ihm und die Dampfbildung lässt nach, bis sie an einer abgekühlten Stelle wieder beginnt, von hier aus über die ganzen Wandungen fortschreitet, so dass hierdurch augenblicklich eine ausserordentliche Menge sehr elastischen Dampfes erzeugt wird, die des geöffneten Ventiles ungeachtet den Kessel zersprengt. Mittelst eigener Hähne untersucht man daher, ob der Kessel genügend, oder auch zu sehr, mit Wasser gefüllt ist.

181) Den Beschluss dieser Untersuchungen möge die Beschreibung der wesentlichsten Theile einer Watt'schen Dampfmaschine



machen. Im Stiefel *A* bewegt der Dampf den Kolben *C* auf- und abwärts, die Kolbenstange den Balancier, eine Stange *P* an dessen anderem Arme den Krummzapfen *Q* und drehet damit zugleich das Schwungrad *x* um, dessen grosses Gewicht eine gleichförmige Bewegung aller Maschinentheile bewirkt, die sonst wegen des wechselnden Auf- und Niederganges der Kolbenstange eine unterbrochene seyn würde. Die Bewegung des Kolbens wird durch den Dampf erzeugt, welcher aus dem Dampfkessel durch die Oeffnungen *D* und *E* unter oder über ihm einströmt, und durch den Canal *H H* in den Behälter *I* entweicht, je nachdem die Ein-

strömungs- oder die Ausströmungsöffnungen durch die Ventile geöffnet, die anderen aber gleichzeitig geschlossen sind. Diese Regulirung der Ventile, meistens Schieberventile, geschieht mittelst der excentrischen Scheibe *y* am Schwungrade, welche in einem Ringe umlaufend ein Gestänge hin und her zieht, dessen anderes Ende den Winkelhebelarm *T* um die Axe *F* drehet, und hierdurch das wechselnde Oeffnen und Schliessen der Ventile bewirkt. Zwischen dem Halter der excentrischen Scheibe und dem Krummzapfen befindet sich eine auf der Axe des Schwungrades befestigte runde, mit dem Rade umlaufende Scheibe mit der Schnur ohne Ende *i*, *i*, *i*, die ein Rad *o*, *o* und durch dessen Zähne ein zweites Rad der verticalen Stange des Regulators (Governor's) *V* umdrehet. Am oberen Ende dieser Stange sind zwei Stangen mit schweren eisernen Kugeln befestigt, die durch schnelleres Umlaufen der verticalen Stange sich weiter von dieser entfernen, dadurch den Ring *h* in die Höhe ziehen, wodurch der Hebelarm *rS* gehoben wird, der einen Hahn des Dampfrohrs mehr öffnet oder schliesst. Ist die Wirkung des Dampfes zu stark, so laufen das Schwungrad, die Scheibe und die verticale Stange zu schnell um, die Kugeln entfernen sich weiter von der Stange, und der gehobene Hebelarm *S* verschliesst das Dampfrohr mehr, damit weniger Dampf einströmt, und die Bewegung auf das richtige Maass zurückkommt. Man sieht leicht, dass dieser, auch bei andern Maschinen anwendbare, von *Watt* zuerst benutzte Regulator unter allen der zweckmässigste ist. Nach geleisteter Wirkung entweicht der Dampf sowohl aus dem Raume über als auch aus dem unter dem Kolben durch das gemeinschaftliche Rohr *H*, *H*, gelangt in den Cylinder *I*, und wird daselbst zu Wasser verdichtet. Letzteres fliesst in den Cylinder *K*, wird daselbst durch den Kolben der sogenannten Luftpumpe, dessen Ventile sich nach oben öffnen, gehoben, in den Canal *S*, *S*, getrieben und mittelst der Druckpumpe durch den Canal *M'* wieder in den Dampfkessel gepresst. Die zur letzteren Operation gehörigen Maschinentheile, namentlich die Ventile, werden durch den Anblick der Figur deutlicher, als durch eine Beschreibung. Die auf ähnliche Weise

construirten Maschinen der Locomotiven sind auf einen geringeren Umfang beschränkt, welcher das Zurücktreiben des aus dem Dampfe condensirten Wassers in den Heizkessel nicht gestattet, und der Dampf entweicht daher, nachdem er den Kolben bewegt hat (§. 178).

182) Man hat schon in älteren Zeiten den Wasserdampf zum Fortschleudern der Geschützkugeln gebrauchen wollen, namentlich ist dieses von *Vauban* vorgeschlagen, und neuerdings hat *Perkins* die Sache wieder in Anregung gebracht. Wie gross auch das Aufheben seyn mag, was in Flugblättern hiervon gemacht wurde, so ergiebt doch eine genauere Prüfung, dass der Wasserdampf für diesen Zweck ungeeignet ist, auf allen Fall dem Schiesspulver weit nachstehet. Der Vorschlag, mittelst des Wasserdampfes siedendes Wasser gegen die Feinde zu spritzen, kann nur Unkundige täuschen, denn das heisse Wasser erkaltet im Freien schwebend augenblicklich (§. 158), und lässt sich ausserdem wegen des Widerstandes der Luft nicht in grosse Entfernungen treiben. Wollte man Geschützkugeln durch Dampf fortschleudern, so müsste dessen Elasticität der des Schiesspulvers auf allen Fall nahe kommen. Die letztere kann mit Sicherheit zu etwa 1480 Atmosphären angenommen werden (§. 49), wovon allerdings in Folge des Entweichens des Pulverdampfes durch das Zündloch und neben der Kugel etwas abgeht, was jedoch beim Dampfe gleichfalls der Fall seyn würde. Eine gleiche Elasticität des Dampfes von 1480 Atmosphären oder fast 18000 Pfund auf 1 Quadratzoll halten keine Gefässe aus, wenn sie obendrein glühend, oder dem Glühen nahe sind (§. 179), die noch keineswegs überwundenen Schwierigkeiten des dampfdichten Schliessens derselben (§. 164) und die aus dem Verhalten beim Leidenfrost'schen Versuche (§. 161) entspringenden gar nicht zu erwähnen. Allerdings mag *Perkins* die Zuschauer bei seinen Versuchen dadurch überrascht haben, dass er mit dem einmal erzeugten sehr elastischen Wasserdampfe eine grosse Menge Kugeln in sehr kurzen Zwischenräumen zu schiessen vermochte, allein die übermächtige

Kraft des glühenden Pulverdampfes kann durch Wasserdampf auf keine Weise erreicht werden.

183) Einige Physiker rechnen zu den Wirkungen der Wärme noch, als etwas Besonderes, auch die Erzeugung der Gase, was in dem Falle allerdings geschehen muss, wenn man einen Unterschied zwischen den Luftarten oder Gasen, und den Dämpfen annimmt. Ohne auf diese schwierige Aufgabe tiefer einzugehen, möge die Nachweisung genügen, dass sich allerdings in gewisser Beziehung ein Unterschied zwischen Luft und Gas annehmen lässt; denn wenn man einen Cylinder mit Luft füllt; und einen Embolus bis in dessen Mitte hineintreibt, so ist in der unteren Hälfte Luft von doppelter Dichtigkeit und doppelter Elasticität vorhanden; war aber Wasserdampf in dem Cylinder, so ist der in der unteren Hälfte nach dem Herabdrücken des Embolus enthaltene von gleicher Dichtigkeit und gleicher Elasticität, wie früher, weil die Hälfte desselben in Wasser verwandelt wurde. Wenn man aber berücksichtigt, dass einige Luftarten, namentlich die Kohlensäure (§. 131), durch starken Druck in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt werden, so scheint man hiernach nicht berechtigt, einen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen anzunehmen. Wie die Entscheidung hierüber auch ausfallen möge, so ist auf allen Fall gewiss, dass alle Gase, eben wie die Dämpfe, aus Wärme und einem durch diese ausgedehnten wägbaren Körper bestehen, wie schon daraus hervorgeht, dass durch Zusammendrückung derselben Wärme frei wird (§. 37).

E. Erzeugung der Elektricität.

184) Die Wärme ist ein so vorzügliches Mittel zur Erzeugung der Elektricität, dass die Physik einen eigenen Abschnitt enthält, die man Thermoelektricität nennt. Ehe dieser Zweig völlig ausgebildet war, wusste man, dass die Elektrisirmaschine, und überhaupt geriebene Körper, leichter und mehr Elektricität geben, wenn sie warm sind, leitete dieses aber aus der Ursache ab, dass dann die Feuchtigkeit verjagt wird, welche die Elektricität ableitet und zerstreut, was auch im Ganzen richtig ist. Ausser-

dem kannte man einen gewissen edlen Stein, den Turmalin, welcher vorzüglich auf der Insel Ceylon vorkommt, und in Folge der Erwärmung und des nachfolgenden Erkaltens elektrisch wird, und dann leichte Körper, namentlich die Asche der ihn erwärmenden Kohlen, anzieht. Ein ähnliches Verhalten, was man auch Pyroelektricität genannt hat, zeigen auch sonstige Krystalle; für uns genügt aber die Bemerkung, dass die Wärme diesen vielfach modificirten Zustand in ihnen hervorruft.

Vor etwa 20 Jahren entdeckten gleichzeitig *Seebeck* zu Berlin und der Academiker *v. Yelin* zu München, dass namentlich die Metalle, sowohl einzelne Stücke der nämlichen, als auch insbesondere zwei verschiedene, sich metallisch berührende oder zusammengelöthete, durch Erwärmung elektrische werden. Fast 10 Jahre später will man gefunden haben, dass alle Körper, namentlich Glas, Eis und selbst Thon, in Folge geringer Veränderungen ihrer Temperatur schwache Spuren elektrischer Anziehung zeigen. Zwar wurde die Thatsache durch andere Versuche zweifelhaft gemacht, doch aber giebt es nicht unwichtige Gründe zu ihrer Unterstützung, und dürften sie als richtig gelten, so liesse sich hieraus der Magnetismus unserer Erde erklären. Unsere Erde wird nämlich in Folge ihrer Axendrehung, die von West nach Ost gerichtet ist, täglich von Ost nach West durch die Sonnenstrahlen erwärmt, und wenn diese Erwärmung Elektricität erzeugte, so liefe um die Erde binnen 24 Stunden ein elektrischer Strom, welcher, wenn er in einem Metalldrahte von Ost nach West um die Erde liefe, im Norden einen magnetischen Südpol erzeugen würde. Ein solcher, d. h. ein Pol, wo nicht nach anderer Ansicht zwei Pole, von südpolarem Magnetismus findet sich auch wirklich in der Nordregion unserer Erde, und durch diesen wird der ungleiche, d. h. der Nordpol, unserer Magnetnadeln angezogen. Auf allen Fall zeigen die neuesten Beobachtungen, namentlich die ausgedehntesten unter allen, die von *Lamont* zu München, dass die Sonnenwärme einen entschiedenen Einfluss auf den Magnetismus unserer Erde, und daher mittelbar auf das Verhalten der Magnetnadel ausübt. Aus der Erzeugung der Elektri-

cität durch Wärme in allen Körpern liesse sich dann auch die in der Luft vorhandene, in den Gewitterwolken angehäufte, erklären, wenn man die durch Verdampfung entstehende, sofern der Wasserdampf positive aufnimmt, und bei der Verdichtung zu Wasser wieder frei lässt, für ungenügend zur Erklärung aller dahin gehörigen Erscheinungen hält.

185) Das Wesentlichste, was zur Thermoelektricität gehört, ist bereits oben (§. 13 u. 14) bei der Beschreibung der thermoelektrischen, oder da die Magnetnadel wesentlich dazu gehört, der thermomagnetischen, Apparate erörtert worden; es wird daher genügen, hier nur noch von den eigentlichen, die Elektricität erzeugenden Vorrichtungen zu reden. Sie haben bisher alle die nämliche Beschaffenheit gehabt, und es ist nicht wahrscheinlich, dass diese wesentlich abgeändert werden sollte, da die Versuche, mehrere Stücke desselben Metalls unter sich und dann mit mehreren vereinten Stücken eines andern Metalls zu verbinden, oder zwei grosse Metallmassen zu vereinigen, keine genügende Wirkungen gezeigt haben. Zu den wirksamsten sogenannten thermoelektrischen Säulen nimmt man etwa 3 Zoll lange, 2 bis 3 Linien dicke vierkantige Stücke von Wismuth und eben solche von Spiessglanz, löthet zwei Stangen von verschiedenen Metallen am einen Ende so zusammen, dass sie am andern 1 Lin. weit von einander stehen, löthet diese Paare wieder so an einander, dass allezeit die ungleichen Metalle vereinigt sind, und bildet aus 6 bis 10 solchen Paaren ein flaches Gitter mit schrägen Stäben. Solcher Gitter verfertigt man 6 bis 8 oder 10, legt sie mit ihren Flächen so auf einander, dass sie jedes durch ein flaches dünnes, 1 bis $1^1/_2$ Zoll breites und 1 Lin. dickes Holzstückchen getrennt die Gestalt eines Ziegelsteins erhalten, und bindet sie mit einem Seidenbande fest. Alsdann löthet man an das freie Ende der äussersten Stäbe jedes Gitters einen Metallstab so, dass dessen anderes Ende sich an das freie Ende des äussersten Stabes des nächsten Gitters anlöthen lässt. Hierbei gilt bloss die Regel, dass stets das Wismuth mit dem Spiessglanze in Berührung seyn muss, und wenn diese gewahrt ist, so ergiebt sich von selbst, dass vom

untersten Ende des ganzen Apparates anfangend, bis zum entgegengesetzten oberen lauter Wechsel von Wismuth und Spiessglanzstangen vorhanden sind. An die zwei äussersten freien Enden wird an jedes ein Kupferdraht von etwa $^1/_2$ Lin. Dicke gelöthet, welche beide als die Poldrähte der thermoelektrischen Säule dienen können, sofern die in der Säule erzeugte Elektricität vom einen Drahte in den ihm genäherten andern überströmt. Verbindet man beide mit einem Multiplicator (§. 14), so wird dessen Nadel nie still stehen, weil die beiden breiten Flächen der Säule, wenn sie mit der einen auf einem Tische oder einer sonstigen Unterlage aufliegt, nie ganz gleiche Temperaturen haben; die Nadel wird daher stets nach der einen oder der entgegengesetzten Seite abweichen. Füllt man aber ein passliches Gefäss mit etwa $^1/_2$ Zoll hoch kaltem Wasser und etwas Eis, oder besser mit Schnee, legt man die Säule mit der einen breiten Fläche hinein, während die andere obere Fläche mit einem Kupferbleche bedeckt ist, auf welchem glühende Kohlen liegen, so zeigt die Säule starke Wirkungen. Um diese noch mehr zu verstärken, windet man einen mit Seide übersponnenen oder mit Seidenband umwickelten 60 bis 100 Fuss langen, 1 Linie und darüber dicken Kupferdraht, oder auch einen auf gleiche Weise zubereiteten, 1 Zoll breiten Streifen Kupferblech, um einen hohlen hölzernen Cylinder, in welchen 20 oder mehr, so viel die Oeffnung fasst, Eisendrähte von 4 Zoll Länge 1 bis 2 Linien Dicke gesteckt sind. Senkt man die Enden dieser sogenannten Inductionsrolle jedes für sich in etwas Quecksilber, welches sich in einer Vertiefung des Fussbrettes, worauf der Apparat ruhet, befinden kann, und in jeden dieser Quecksilbertropfen das Ende des Poldrahtes der Säule, so dass also der elektrische Strom vom einen Poldrahte in das Quecksilber, von diesem durch den ganzen Kupferdraht der Inductionsrolle in das andere Quecksilber, und von diesem wieder in den zweiten Poldraht strömen muss, so sieht man beim Herausziehen des einen Drahtes aus dem Quecksilber einen kleinen glänzenden Funken; auch kann man auf diese Weise eine schwache Erschütterung der Nerven erhalten, und schwache Spuren chemischer Wirkungen.

Vergleichungstabelle der gebräuchlichsten Längenmasse.

NB. Meistens wird der Fuss in 12 Zoll und der Zoll in 12 Linien getheilt. Ist dieses der Fall, so findet zwischen den Zollen und Linien dasselbe Verhältniss statt, als zwischen den Fussen. Unter den hier genannten weicht der englische und der ihm ganz gleiche russische darin ab, dass der Zoll in 10 Linien getheilt wird, der badische, der ihm gleiche hessische Fuss aber und der würtembergische haben 10 Zoll und der Zoll 10 Linien.

Pariser Fuss =	Engli-sche.	Rheini-sche.	Wiener.	Baier-sche.	Würtem-bergische.	Badi-sche.
1	1,07	1,03	1,03	1,11	1,13	1,08
2	2,13	2,07	2,06	2,23	2,26	2,17
3	3,20	3,10	3,08	3,34	3,40	3,25
4	4,26	4,14	4,11	4,45	4,53	4,33
5	5,33	5,17	5,14	5,56	5,67	5,41
6	6,39	6,21	6,17	6,68	6,80	6,50
7	7,46	7,24	7,19	7,79	7,94	7,58
8	8,53	8,28	8,22	8,90	9,07	8,66
9	9,59	9,31	9,25	10,02	10,20	9,74
10	10,66	10,35	10,28	11,13	11,34	10,83
11	11,72	11,38	11,30	12,24	12,47	11,91
12	12,79	12,42	12,33	13,36	13,60	12,99
13	13,85	13,45	13,36	14,47	14,73	14,07
14	14,92	14,49	14,39	15,58	15,87	15,15
15	15,99	15,52	15,41	16,69	17,01	16,24
16	17,05	16,56	16,44	17,80	18,14	17,32
17	18,12	17,59	17,47	18,19	19,27	18,41
18	19,17	18,63	18,50	20,03	20,41	19,59
19	20,25	19,66	19,52	21,14	21,54	20,57
20	21,31	20,70	20,55	22,26	22,67	21,65

Pariser Zoll. =	Würtemb. Zoll.	Bad. Zoll. Linie.	Pariser Zoll =	Würtemb. Zoll.	Bad. Zoll. Linie.
1	0,94	— 9,02	7	6,61	6. 3,16
2	1,89	1. 8,05	8	7,56	7. 2,19
3	2,83	2. 7,07	9	8,50	8. 1,21
4	3,78	3. 6,09	10	9,45	9. 0,23
5	4,72	4. 5,12	11	10,39	9. 9,26
6	5,67	5. 4,14	12	11,34	10. 8,28

Das gesetzliche Mass in Frankreich ist das Meter, welches zehntheilig abwärts in Decimeter, Centimeter und Millimeter getheilt wird, aufwärts Dekameter, Hektameter und Kilometer giebt. Solcher Linien, deren 144 einen pariser Fuss geben, gehen $443\frac{296}{1000}$ auf 1 Meter.

Par. Lin. =	Millim.	Par. Zoll =	Deci-meter.	Paris. Fuss. =	Meter.	Paris. Fuss =	Meter.
1	2,26	1	0,27	1	0,32	40	12,99
2	4,51	2	0,54	2	0,65	50	16,24
3	6,77	3	0,81	3	0,97	60	19,49
4	9,02	4	1,08	4	1,30	70	22,74
5	11,28	5	1,35	5	1,62	80	25,99
6	13,53	6	1,62	6	1,95	90	29,24
7	15,79	7	1,89	7	2,27	100	32,48
8	18,05	8	2,17	8	2,60	200	64,97
9	20,30	9	2,44	9	2,92	400	129,94
10	22,56	10	2,71	10	3,25	500	162,42
11	24,81	11	2,98	20	6,50	600	194,90
12	27,07	12	3,25	30	9,74	800	259,87

Druck von C. P. Melzer in Leipzig.

Verbesserungen.

S. 4 Z. 13 statt Eises lies Eisen's.
— 27 — 32 statt au fihnen lies auf ihnen.
— 28 — 32 statt Kupferamoniak lies Kupferammoniak.
— 30 — 11 statt Irkuzk lies Jakuzk.
— 52 — 28 statt tachos lies tachys.
— 55 — 21 statt mindesten lies mindestens.
— 66 — 1 v. u. das Komma fällt weg.
— 76 — 15 statt krankhafte lies krampfhafte.
— 83 — 8 Leimens lies Leinens.
— 121 — 27 statt diathermane lies Diathermanie.
— 146 — 15 statt aufsteigenden lies aufsteigendo.
— 170 — 29 statt Grund lies Grunde.
— 174 — 14 statt Alcaruzzas lies Alcarazzas.
— 178 — 5 statt aber lies eben.
— 193 — 9 statt eine lies einer.
— 197 — 11 statt Wetterbaroskop lies Wetterparoskop.
— 197 — 35 statt Lagerungen lies Legirungen.
— 215 — 29 statt altein lies alleiń.
— 222 — 4 v. u. statt 8° lies — 8°.
— 231 — 15 statt trocknet lies trocken.
— 231 — 23 und fällt weg.
— 234 — 15 statt 562 lies 1562.
— 234 — 16 statt Worchester lies Worcester.